

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Osmo Kröger

Nosturin paikan mittaaminen

Insinöörityö 22.3.2010

Ohjaaja: automaatioinsinööri Marko Peltonen
Ohjaava opettaja: yliopettaja Jouni Jokelainen

Tekijä Otsikko	Osmo Kröger Nosturin paikan mittaaminen
Sivumäärä Aika	51 sivua 22.3.2010
Koulutusohjelma	automaatiotekniikan koulutusohjelma
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	automaatioinsinööri Marko Peltonen yliopettaja Jouni Jokelainen
<p>Opinnäytetyössä käydään läpi nykyaikaisen nosturin paikan mittaamista. Mukana on kaksi mittausjärjestelmää, joita ei ennen ole käytetty nosturiso­velluksissa. Näistä toista testataan loppuasiakkaalle asennetussa automaattinosturissa.</p> <p>Nykyaikaista nosturia ohjaa lähes aina logiikka. Yksi oleellinen automaation osa on paikan mittaaminen. Erilaiset nosturiso­vellukset asettavat erilaisia vaatimuksia niin mittajärjestelmälle kuin mittauksesta saadulle datallekin. Nosturien vaihtelevat käyttöympäristöt ja asiakkaiden tottumukset lisäävät omat vaatimuksensa mittajärjestelmien valintaan.</p> <p>Markkinoilla on saatavana satoja erilaisia mittalaitteita ja –järjestelmiä, jotka periaat­teessa soveltuvat nosturiso­velluksiin. Käyttöympäristön olosuhteet, nosturiso­velluksen vaatimukset ja vaadittu automaation taso ovat ensimmäiset kriteerit valintaa tehtäessä. Asiakkaan toiveet ja vaatimukset saattavat ohjata valintaa tietyn valmistaja malleihin. Hankintahinnan lisäksi valinnassa tulee ottaa huomioon myös mittalaitteen asennuksesta, käyttö­notosta ja tarvittavien apurakenteiden valmistamisesta ja asentamisesta aiheutuvat kulut. Asiakasta luonnollisesti kiinnostaa järjestelmän huoltotarve, huollettavuus, käyttöikä ja varaosavaraston arvo. Joskus myös uudelleen­käytettävyys tai käytöstäpoistamiskulut arvioidaan.</p> <p>GPS:ään perustuvaa paikannusjärjestelmää voidaan parantaa asettamalla katvealueille – kuten tehdashallien sisälle – signaalia tuottavia lisälä­hettimiä. Järjestelmä on kuitenkin herkkä mm. teräsrakenteista johtuville häiriöille. Myöskään tarkkuus ei vielä riitä useimmille nosturiso­velluksille. Näiden tekijöiden parantuessa järjestelmä saattaa jatkossa olla varteenotettava paikoitusjärjestelmä varsinkin useiden nostureiden suuriin teollisuushalleihin.</p> <p>Kiihtyvyysanturiin perustuvaa mittajärjestelmää testattiin asiakkaalle asennettulla automaattinosturilla. Nosturissa absoluuttista paikkaa mittaavan laseranturin paikkatietoa verrattiin kiihtyvyysanturilta laskennan kautta saatuun paikkatietoon. Vaikka paikkatiedot erosivatkin paljon toisistaan, antoi testi viitteitä siitä, että valitsemalla oikeanlainen anturi ja kehittämällä laskentaa voidaan järjestelmästä saada nosturiso­velluksiin riittävän tarkka paikkatieto. Kokonaiskuluiltaan kiihtyvyysanturi näyttäisi olevan kilpailukykyinen mihin tahansa muuhun paikanmittausjärjestelmään verrattuna, ja käytännössä täysin huoltovapaa rakenne kiinnostaa varmasti myös loppuasiakkaita.</p>	
Hakusanat	paikan mittaaminen, kiihtyvyysanturi, nosturiso­vellus, GPS-paikannus

Author Title	Osmo Kröger Location measurement of a crane
Number of Pages Date	51 22 March 2010
Degree Programme	Automation Technology
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Marko Peltonen, Automation Engineer Jouni Jokelainen, Principal Lecturer
<p>This Bachelor's thesis studies the location measurement of a crane. The focus is on two measurement systems which have not been used in crane applications before. One of the systems is also tested in an automated crane installed to a customer.</p> <p>A modern crane is nearly always controlled by a PLC system. One essential issue of automation is location measurement. Different crane applications set different requirements for both the measurement system and the signal. Changing environments of the cranes and customers' routines escalate the requirements for the system.</p> <p>There are hundreds of different measuring devices and systems in the market, which are theoretically suitable for a crane application. The first criteria for selecting the location system are environment, requirements of the crane application and the grade of automation. Customers' requests or requirements may specify the producer of the sensor. In addition to the prime cost, the assembly, commissioning and configuration costs have to be taken into account. The customer is definitely interested in the need of maintenance, maintainability, lifetime of the sensor and value of the spareparts. Sometimes also recycling and decommissioning costs are evaluated.</p> <p>GPS positioning can be improved by assembling additional transmitter units in areas where the primary GPS-signal is not observed. However, the system is sensitive for e.g. interference caused by surrounding steel structures. Furthermore, the accuracy is not good enough for a crane application. In the future, if these two aspects of the system can be improved, GPS navigation might be a noteworthy measurement system especially in large environments where several cranes are operating.</p> <p>A measurement system based on accelerometer was tested in an automatic crane. Laser sensor measures all the time the location of the crane. This location was compared to the location calculated from the acceleration. Even though the locations differ quite a lot, the test shows that by choosing the right accelerometer and improving the calculation, an accelerometer-based location system can be accurate enough for a crane application. Low overall costs and totally maintenance-free construction will undoubtedly also interest the customer.</p>	
Keywords	location measurement, accelerometer, crane application, GPS positioning

Sisällys

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	5
2 MITTAUSSOVELLUKSEN ASETTAMAT VAATIMUKSET	7
2.1 NOSTURIN LIIKKEIDEN RAJOITTAMINEN	7
2.2 NOSTURIN SILLAN SUORISTUS AJOSSA ELI TASANAJO	8
2.3 NOSTURIN PAIKAN MÄÄRITTÄMINEN TUOTANNONOHJAUKSEN TARPEISIIN	10
2.4 AUTOMAATTINOSTURI	11
3 MITTAUKSELTA JA MITTALAITTEILTA VAADITTAVAT OMINAISUUDET	13
3.1 TARKKUUS	13
3.2 LUOTETTAVUUS	14
3.3 REAALIAIKAISUUS	15
3.4 HÄIRIÖSTÄ TOIPUMINEN	16
3.5 ASENTAMINEN	17
3.6 KOKONAISKUSTANNUS	18
4 NYKYISET MITTAUSJÄRJESTELMÄT	20
4.1 PYÖRIVÄT ANTURIT	20
4.2 LASERANTURI	23
4.3 VIIVAKOODIANTURI	25
4.4 ABSOLUUTTI LINEAARIANTURI	26
4.5 ULTRAÄÄNIANTURI	28
4.6 PAIKANNUS	29
4.7 KIIHTYVYYSANTURI	30
5 KIIHTYVYYSANTURIN TESTAUS	33
5.1 TESTIJÄRJESTELYT	33
5.2 TESTI	36
5.3 LASKENTA JA TULOSTEN ESITYS	37
5.4 TULOSTEN ARVIOINTI JA KEHITYSMAHDOLLISUUDET	42
6 YHTEENVETO	47
LÄHTEET	49
LIITTEET	
LIITE 1: KIIHTYVYYSANTURIN KYTKENTÄKAAVIO	50
LIITE 2: PAIKAN JA NOPEUDEN KUVAAJAT	51

1 Johdanto

Siltanosturin liikkeiden hallinta on vähitellen siirtymässä kuljettajalta automatiikalle. Kuljettaja määrää edelleen, minnepäin ja milloin mennään, mutta useisiin ohjauksiin puuttuu myös automatiikka. Entistä suuremmat turvallisuusvaatimukset, inhimillisten erehdysten välttäminen, tuotannonohjauksen tarpeet sekä pyrkimys pienempiin ylläpitokustannuksiin johtavat automaation lisääntymiseen nosturin liikkeiden ohjauksessa. Osa vaatimuksista voi olla viranomaisten määräyksiä, osa loppukäyttäjän kokemusten perusteella tarpeelliseksi todettuja.

Turvallisuusvaatimukset tarkoittavat esimerkiksi estoalueita, ajoradan päätyjen hidastus- ja pysäytysrajoja sekä jarrutuksen valvontaa. Nosturin liikealueella olevia kohteita, vaikkapa työpistettä, halutaan turvata estämällä nosturin liike tällä alueella kokonaan. Nostoapulaitetta tai taakkaa voidaan estää törmäämästä ohjaamoon asettamalla tietyt rajoitukset nostovaunun liikkeisiin ja liikkeiden nopeuksiin ohjaamon lähellä. Ajoradan päädyissä tulee olla mekaaniset esteet, ettei nosturi voi pudota radalta, mutta myös hidastus- ja pysäytysrajat niin, ettei nosturilla ole periaatteessa edes mahdollista ajaa päätystoppareille asti. Muita samalla ajoradalla liikkuvia nostureita seurataan ja liikenopeuksia rajoitetaan puolin ja toisin liikuttaessa lähekkäin.

Kasvavassa määrin tehtaissa otetaan käyttöön erilaisia tuotannon- tai materiaalinohjausjärjestelmiä. Tämä saattaa tarkoittaa esimerkiksi sitä, että nosturinkuljettaja saa ohjaamon näyttöpäätteeseen ohjausjärjestelmältä tehtäviä, jotka hän suorittettuaan raportoi tai kuittaa tehdyksi. Näin ohjausjärjestelmä tietää koko ajan materiaalin sijainnin tehdashallissa.

Perinteisesti nosturi on pidetty mekaanisilla rakenneratkaisuilla ajoradalla käyttämällä sivuohjausrullia tai laipallisia kantopyöriä. Koska suuren prosessinosturin massat saattavat olla jopa satoja tonneja, aiheuttaa tällainen ohjaustapa suuria rasituksia teräsrakenteille sekä nosturissa että ajoradalla. Ääritapauksissa tämä saattaa johtaa nopeastikin mekaanisiin vaurioihin. Lisäksi huoltotarve liikkuville osille on suuri.

Rikkoutumista, kulumista ja huoltotarvetta pyritään pienentämään nykyään automaation avulla. Mekaaniset ohjaukset jäävät tällöin täydentämään ja varmistamaan automaation ohjausta.

Kaikkien edellä mainittujen toimintojen automatisoinnin onnistumiselle yksi tärkeimmistä edellytyksistä on nosturin paikan mittaaminen. Koko ajan yleistyvissä automaattinosturisovelluksissa tulee sillan ja nostovaunun paikkatietojen lisäksi tietää ainakin nostoapulaitteen sijainti ja asento. Tässä opinnäytetyössä käsitellään nykyaikaisen siltanosturin paikan mittauksen vaatimuksia, mittauksilta ja mittalaitteilta vaadittavia ominaisuuksia sekä nykyisin käytössä olevia tai mahdollisesti nosturikäyttöön soveltuvia mittaustapoja. Lisäksi testataan tällä alalla uutta mittaustapaa. Työ tehdään Algol Technics Oy:n Nosto- ja siirtortkaisut – liiketoimintayksikölle, jonka laajaan palvelukokonaisuuteen kuuluu nostureiden ja kuljetinjärjestelmien tarvekartoitus, suunnittelu, asennus, käyttöönotto sekä käyttö- ja huoltokoulutus. Palveluihin sisältyvät myös peruskorjaukset, modernisoinnit, laajennukset ja tekniset tarkastukset.

2 Mittaussovelluksen asettamat vaatimukset

Erilaisissa nosturisovelluksissa ei ole järkevää käyttää samanlaista mittaustapaa paikan määrittämiseen. Automaattinosturin absoluuttinen mittausjärjestelmä toteutettuna esimerkiksi laserilla soveltuu kyllä todennäköisesti pelkkään nosturin paikan määrittämiseen tuotannonohjauksen valvontatyökaluna, mutta saattaa hankinta- ja asennuskustannuksiltaan olla yksistään tähän käyttöön tarpeettoman kallis hankinta. Paikalliset olosuhteet ja samalla ajoradalla liikkuvat muut nosturit asettavat omat rajoituksensa ja vaatimuksensa mittajärjestelmälle. Samassa kohteessa aiemmin käytössä olleet mittajärjestelmät sitovat myös osaltaan valintaa. Joko samanlaista järjestelmää halutaan suosia jatkossakin mm. varaosavaraston pysyvyyden sekä käyttö- ja ylläpitohenkilöstön osaamisen takia, tai samanlaista järjestelmää ei haluta siinä havaittujen ongelmien ja puutteiden takia. Seuraavassa käydään läpi erilaisten nosturi- ja mittaussovellusten vaatimuksia paikan mittausjärjestelmälle.

2.1 Nosturin liikkeiden rajoittaminen

Kaikissa nostureissa on hidastus- ja pysäytysalueet vähintään ajoradan päissä ennen päätystoppareita. Myös nostovaunulle on samanlaiset varoalueet sillalla, lisäksi nostolla on vähintäänkin yläraja, mahdollisesti alarajakin. Kaikki nämä voidaan toteuttaa mekaanisilla vipurajoilla, eikä mahdollisesti nosturissa olevan paikanmittausjärjestelmän tarvitse puuttua näihin rajoituksiin millään tavalla.

Joissakin tapauksissa nosturin liikealueella on kohteita, jotka halutaan suojata niin, ettei nosturilla pääse ollenkaan alueelle. Vaihtoehtoisesti alueelle voi liikkua vain rajoitetulla nopeudella tai tiettyä sallintalaitetta tai –nappia käyttäen. Kohde voi olla esimerkiksi alueella oleva pakkauspiste tai nosturin siltapalkkiin kiinnitetty, nostopuomin liikealueella oleva ohjaamo. Mikäli kohteita ei ole useita, on ne mahdollista suojata päätyrajojen tapaan, eikä mittausjärjestelmiä tarvita. Jos kohteita on useita ja huomioon on otettava sillan ja nostovaunu paikan lisäksi myös nostokorkeus, saattaa olla helpompi

käyttää nosturin paikanmittausjärjestelmästä saatavaa paikkatietoa ja asettaa estoalueet ohjelmallisesti. Tämän takia mittausjärjestelmän tuleekin tässä käytössä tietää aina niin sillan ja nostovaunun paikka kuin nostokorkeuskin. Jos suojattava kohde on nosturin mukana liikkuva (kuten ohjaamo), tulee tietää myös nostovaunun paikka ja noston korkeus. Sähkökatkon jälkeen paikkatiedon on oltava edelleen paikkaansapitävä. Muussa tapauksessa nosturilla on ajettava referenssiajo päätyrajoille, jolloin mittausjärjestelmä tietää taas tarkan paikkansa. Käyttäjät on luonnollisesti koulutettava katkon jälkeisiin rutineihin. Jos mahdollista, nosturin automatiikan tulee antaa selkeä varoitus käyttäjälle, hidastaa nopeutta tai estää normaalikäyttö kokonaan sekä näissä katkon jälkeisissä käynnistyksissä että mahdollisissa muissa tilanteissa, joissa se ei tiedä kaikkien mittauksessa olevien osiensa paikkaa luotettavasti mahdollisen anturi- tai kaapelirikon seurauksena.

Samalla ajoradalla saattaa liikkua useita nostureita. Näiden väliset törmäykset tulee estää jollakin tapaa. Yleensä käytössä on jonkinlainen törmäystutka tai –valokenno, joka rajoittaa tai estää nosturin liikeitä havaitessaan lähellä toisen nosturin. Esto tai rajoitus voi olla väliaikaisesti poistettavissa, jos kahdella tai useammalla nosturilla on tarve ajaa ns. yhteisajoa yhdelle nosturille liian pitkiä tai painavia kappaleita siirrettäessä. Mikäli samalla ajoradalla liikkuvissa kaikissa nostureissa olisi sillan absoluuttinen paikanmittaus, olisi törmäyksenesto periaatteessa mahdollista toteuttaa myös nostureiden paikkatietoja hyödyntäen joko kunkin nosturin oman logiikan ohjaamana tai vaihtoehtoisesti ylemmän järjestelmän ohjauksessa. Tällöin nostureiden välillä tai nosturin ja ylemmän järjestelmän välillä tulisi lisäksi olla nopea ja luotettava tiedonsiirtojärjestelmä. Järjestelmän kaatuminen luonnollisesti vaikuttaisi tapauskohtaisesti nostureiden toimintaan hidastamalla tai pysäyttämällä kokonaan niiden toiminnan.

2.2 Nosturin sillan suoristus ajossa eli tasanajo

Suuren nosturin kokonaismassa taakkoineen saattaa nousta satoihin tonneihin. Taakka ja osa nosturin omasta massasta, mm. nostovaunu, sijaitsee usein epäkeskeisesti, mistä

johtuen kiihdytettäessä ja hidastettaessa sillan eri päätyjen pyörät saattavat luistaa eri tavalla. Lisäksi luistoon voi vaikuttaa moni muukin tekijä, mm. ajoratakiskon kunto tai ajoradalle ja vetäviin pyöriin kerääntyneet epäpuhtaudet. Luiston seurauksena nosturi pyrkii kääntymään ajoradalla siten, ettei se enää kuljekkaan kohtisuorasti ajorataan nähden.

Nosturin, kuten myös nostovaunun, putoaminen radalta on estetty erilaisilla mekaanisilla rakenteilla. Samat rakenteet pitävät nosturin tai nostovaunun kutakuinkin suorassa kulkulinjaan nähden. Pienemmissä nostureissa ja nostovaunussa tähän riittävät sivulaipalliset, eräänlaiset urapyörät, jotka eivät pääse nousemaan ajoradalta. Suuremmissa, kymmeniä tai satoja tonneja painavissa nostureissa tarvitaan järeitä teräsrakenteita ja suuret vaakatasossa pyörivät ohjausrullat, jotka tukevat ajoradan molempiin kylkiin (kuva 1). Jos nämä rakenteet kuormittuvat toistuvasti liikaa, saattavat ne rikkoutua hyvinkin nopeasti, jopa muutamassa kuukaudessa. Lisäksi rasitettujen kohtien huoltotarve voi olla moninkertainen muihin huoltokohteisiin verrattuna.



Kuva 1. Vasemmalla nosturin nostovaunun sivulaipallinen pyörä, oikealla hyllystöhissin sivuohjausrullat.

Nosturin vinossa kulkemisesta johtuvaa, sekä nosturin että ajoradan rakenteisiin kohdistuvaa rasitusta vähennetään nykyään automatiikalla. Tätä sillan ohjausta kutsutaan tasanajoksi. Sen onnistumiseksi tarvitaan nosturin paikkatietoa.

2.3 Nosturin paikan määrittäminen tuotannonohjauksen tarpeisiin

Suurissa tehdashalleissa voi olla tuhansia varastointi- ja käsittelypaikkoja tuotteille. Tuotteita liikutettaessa tapahtuvat virheet aiheuttavat tuotteiden häviämistä ja hävikkiä. Syitä ovat esimerkiksi, että varastopaikka on väärä ja tuotetta joudutaan etsimään, tuote on käsitelty väärin tai väärä tuote lähetetään asiakkaalle. Virheitä pyritään vähentämään mm. tuotteiden tunnistettavuutta parantamalla sekä tuotannon- ja varastonohjausjärjestelmien raportointia kehittämällä. Yksi mahdollisuus virheiden vähentämiseksi on nosturin paikan tunnistaminen tuotetta siirrettäessä. Kun tuote viedään varastopaikalleen, ei luoteta pelkästään nosturin kuljettajan ilmoitukseen tuotteen jättämisestä kohteeseensa, vaan varmistetaan oikea jättöpaikka nosturin mittajärjestelmästä vertaamalla nosturin todellista paikoitusta varastopaikan sijaintiin. Jos paikka täsmää tietyn toleranssin puitteissa, siirto hyväksytään. Muussa tapauksessa kuljettajaa varoitetaan väärästä paikasta. Mahdollista on myös, että jättöpaikkaa ei järjestelmän toimesta määritetä, vaan kuljettaja valitsee paikan ja nosturin paikoitusjärjestelmä ilmoittaa sen tuotannonohjausjärjestelmälle mahdollisesti vielä kuljettajan varmistuksella.

Tuotteista, nostoapulaitteesta ja varastointipaikoista riippuen nosturin paikan määrittäminen tässä käytössä ei välttämättä tarvitse olla tarkkaa. Jos tuote on kooltaan vaikkapa 2x5 metriä ja varastopaikka hieman tätä suurempi, jo puolenkin metrin paikoitustarkkuus riittää varmistamaan, että tuote haetaan oikeasta osoitteesta tai että nosturi ei ole oikeassa paikassa jättöhetkellä. Tuotteen ja varastopaikan koon kasvaessa tarkkuusvaatimus pienenee, koon pienentyessä vaatimustaso kasvaa. Jos mittajärjestelmää ei ole rakennettu yksistään tähän käyttöön vaan muutakin automaatiota varten, täyttää se varmasti paikannustarkkuuden osalta myös tämänkaltaisen käytön.

Mittajärjestelmän satunnaiset virhetilat eivät pysäytä tuotantoa. Tällöin raportointi- ja varmistustoimet vain tekee pelkästään kuljettaja perinteiseen tapaan.

2.4 Automaattinosturi

Automaattinosturit asettavat suurimmat vaatimukset nosturin paikan määrittämiselle niin paikoitustarkkuuden, luotettavuuden kuin häiriöstä toipumisenkin suhteen. Mittalaitteiden toimivuuden valvominen tai niiden itsekontrolli on usein välttämätöntä, lisäksi tarvetta voi olla erillisille – osittain päällekkäisillekin – mittaus- ja havainnointijärjestelmille. Näillä varmistetaan, ettei automaattinosturin liikealueella liiku ihmisiä tai muita koneita tai että siirrettävä taakka on kunnolla kiinni nostoapulaitteessa koko siirron ajan.

Koko nosturin käynnissäolon ajan ohjausjärjestelmän tulee tietää niin sillan ja nostovaunun paikka kuin nostokorkeuskin. Häiriöstä toipumisen nopeus on yksi mittalaitteiston valintaan vaikuttava tekijä. Myös käynnistyksen jälkeen automaation tulee tietää nosturin paikka, joko niin, että mittalaitteistot tietävät nosturin sijainnin heti, tai referenssiajon jälkeen. Referenssiajo vaikuttaa sähkökatkon jälkeiseen häiriöstä toipumisen nopeuteen, eikä se tästä syystä välttämättä sovellu prosessissa mahdollisesti pullonkaulana olevalle automaattinosturille. Referenssiajon eri liikkeiden järjestys tulee miettiä tarkasti, etteivät törmäykset nosturin liikealueella oleviin kohteisiin ole missään tapauksessa mahdollisia. On myös varmistettava, etteivät liikkuvat osat voi mennä tai olla referenssipisteittensä ”takana”. Mikäli työkiertoaikavaatimus ei ole tiukka eikä nosturi ole prosessin kannalta ratkaisevassa roolissa, referenssiajo voidaan tehdä myös manuaalisesti. Tällöin ajon suorittava henkilö varmistaa, ettei törmäyksiä tapahdu.

Paikoitustarkkuusvaatimus riippuu nosturin käyttötarkoituksesta ja –kohteesta. Riippuen nostoapulaitteesta ja tuotteesta siirtoon ainoastaan kahden paikan välillä saattaa riittää jopa kymmenien senttien tarkkuus, tosin näin epätarkalla paikoituksella nosturin toiminta muuten ei ole luotettavaa. Yleensä paikoitustarkkuudessa pyritään muutamasta millistä muutaman sentin tarkkuuteen. Kaikilta liikkeiltä ei kuitenkaan aina vaadita samoja tarkkuuksia.

Mittalaitteita valittaessa on otettava huomioon mm. pyörien ja nostotelan kulumisen sekä nostoköysien venyminen. Mieluummin valittavan mittalaitteen tulisi olla immuuni

ajan myötä tapahtuville rakenteiden fyysisille muutoksille. Jos tämä ei ole mahdollista, tulee riittävä paikoitustarkkuus varmistaa muuten, säännöllisillä köydenvaihdoilla tai mittalaitteen uudelleenkalibroinnilla. Myös vaihtelevat olosuhteet nosturin toiminta-alueella on otettava huomioon. Lämpötilamuutokset saattavat olla jopa satoja asteita ja vaikuttaa lämpölaajenemisen kautta mittalaitteeseen. Pinnoille kertyvä lika voi häiritä optisia laitteita, samoin pöly- tai höyrypilvet ja alueella käytössä olevat kemikaalit vaikuttavat niin mittalaitteen valintaan kuin sen suojaustarpeeseen. Edellisten seurauksena tarvittava huoltoaika ja –kapasiteetti ovat myös osaltaan yksi tekijä laitteistoa valittaessa. Huoltotarvetta arvioitaessa on muistettava myös mittalaitteistoon liittyvän ohjelmiston vaatima kapasiteetti normaalin ylläpidon tai uudelleenkalibroinnin yhteydessä.

3 Mittaukselta ja mittalaitteilta vaadittavat ominaisuudet

Toteutettava sovellus aiheuttaa pääosan mittalaitteille ja niiltä saatavalle mittatiedolle asetettavista vaatimuksista. Lopullinen käyttöympäristö saattaa vaikuttaa suurestikin niin laitteiston valintaan kuin sen suojaustarpeeseenkin mm. likaantumisen ja lämpötilavaihteluiden takia. Usein myös loppukäyttäjä haluaa juuri tietynlaisen laitteiston vieläpä tietyltä valmistajalta. Tällöin sillä mahdollisesti jo on kyseiseen laitteistoon riittävästi varaosia tai huolto- ja käyttöhenkilöstö tuntee juuri kyseisten laitteiden toiminnan.

Vaikka mittalaite valitaan ilman loppukäyttäjältä tulevia merkkitoiveita, ei aina parasta ja luotettavinta mittatietoa kyseiseen sovellukseen antava mittajärjestelmä (mikäli tällainen järjestelmä yleensä edes löytyy) ole itsestäänselvä valinta. Laitteiston hankintakulut saattavat vaikuttaa suuresti valintaan, huomioon on aina kuitenkin otettava myös asennus-, käyttöönotto- ja huoltokustannukset. Mittalaitteen käyttöikä tai mekaanisesta kulumisesta johtuva vaihtotarve on suhteutettava sovelluksen ja nosturin käyttöikään. Huoltotarve, uudelleen kalibroinnit jne. ovat myös oleellinen osa kokonaiskustannusta varsinkin loppuasiakkaan näkökulmasta. Kokonaisuuden kannalta saattaa joskus olla järkevää ottaa jollekin liikealueelle vaatimuksiin nähden ”liian hyvä” mittalaite, jos se on toisaalla samassa nosturissa jo käytössä. Näin varaosavarasto saadaan pidettyä pienempänä ja huollettavuus helpompana. Mittalaitteen valinta onkin usein kompromissi sovelluksen vaatimusten, mittalaitteen ominaisuuksien, kustannusten ja loppukäyttäjän vaatimusten kesken. Tärkeintä on löytää sovelluksen kannalta oleellimmat ominaisuudet täyttävä, myös loppukäyttäjää tyydyttävä mittalaite toteuttamiskelpoiseen kokonaishintaan.

3.1 Tarkkuus

Mittauksen tarkkuusvaatimus riippuu suuresti sovelluksesta ja nosturin kokoluokasta skaalan ollessa jopa millien toistotarkkuudesta useiden kymmenien senttien

tarkkuuteen. Yleisimmin suurien prosessinosturien liikeiden ohjauksessa ja useissa automaattisovelluksissa muutaman sentin paikoitustarkkuus on riittävä ja tarkoituksenmukainen.

Liian epätarkka mittaus säätökäytössä heikentää säädön onnistumista tai pahimmassa tapauksessa estää säädön hyväksikäytön kokonaan liikeiden ohjauksessa. Liiallinen tarkkuus taas saattaa kuormittaa suotta ohjauksen laskentatehoa. Jos turha tarkkuus siirretään myös toteutukseen, eli nosturi paikoitetaan aina millin osien tarkkuudella muutaman sentin sijaan, kasvattaa se paikoitusajan pitenemisen seurauksena työaikakiertoa ja todennäköisesti myös häiriöitä.

Mittalaitteesta ei siis aina olekaan tarkoituksenmukaista ottaa koko tarkkuuskapasiteettia irti, vaan tarkkuus on sovitettava toteutettavaan sovellukseen. Periaatteessa mittalaite valitaan kunkin liikealueen tarkimman vaatimuksen mukaan. Valintaa tehdessä on tarpeen miettiä valmiiksi mittalaitteelle erilaisia mekaanisia kiinnitys- ja välitysratkaisuja. Lähes kaikki mittalaitteet saadaankin mekaanisilla ratkaisuilla tarkkuusvaatimuksen osalta sovitettua kulloisiinkin tarpeisiin.

3.2 Luotettavuus

Luotettavuudella tarkoitetaan tässä sekä mittalaitteen luotettavaa toimintaa että sen kiinnittämiseen ja voiman välitykseen käytettyjen rakenneratkaisujen toimivuutta: vetopyörän keskiöön kiinnitetty pulssianturi saattaa antaa pyörän ja ajoratakiskon välisen luiston seurauksena väärän mitan, vaikka itse anturi olisikin tarkka ja luotettava. Osa luotettavuutta on tiedon- ja virransiirto anturin ja ohjausjärjestelmän välillä: voidaanko johdot suojata mekaanisesti kulutukselta, onko mahdollista käyttää langatonta tiedonsiirtoa vai voidaanko mittausjärjestelmä rakentaa nosturin sijasta kiinteisiin rakenteisiin. Myös signaalin suojaaminen häiriöiltä on tärkeä osa luotettavuutta. Suuret taajuusmuuttajakäytöt sotkevat melko varmasti ainakin jänniteviestin käyttökelvottomaksi ilman suojaustoimenpiteitä.

Valituilla ratkaisuilla pyritään siihen, että mittatieto on aina tarvittaessa käytössä. Kaikissa sovelluksissa mittatiedon satunnainen puuttuminen ei aiheuta toiminnan pysähtymistä tai edes hidastumista. Luotettavan mittatiedon hävitessä tuotannonohjauksen varmistus otetaan automaattisesti pois käytöstä, takaisin käyttöön se otetaan, kun mittatieto taas saadaan. Toisaalta kriittisimmät sovellukset saattavat vaatia jopa koko mittausjärjestelmän tai johdotusten kahdentamista. Nosturilla joko ei ole aikaa muun prosessin takia ylimääräisiin pysähdyksiin, tai mittatiedon puuttumisen seurauksena tehtävä hätäpysäytys itsessään aiheuttaa vaaratilanteen tai vaikuttaa toistuvasti suoritettuna nosturin elinikään.

3.3 Reaaliaikaisuus

Nosturin liikkeiden säätöön vaikuttavan mittatiedon tulee olla mahdollisimman reaaliaikaista. Lisäksi useamman samaan säätöön vaikuttavan tiedon tulee olla mahdollisimman samanaikaista. Yleensä mittalaitetta suurempi vaikutus tiedon reaaliaikaisuuteen on tiedonsiirrolla, logiikalla ja ohjelmistolla. Väyläratkaisuilla, logiikan kokoonpanolla ja luonnollisesti myös mittalaittevalinnalla tulisi pyrkiä siihen, että mittatiedon saantitaajuus olisi vähintäänkin sama kuin logiikkaohjelman kiertonopeus ja että laskentaan käytettävä tieto olisi mitattu korkeintaan muutama työkiertoa aikaisemmin.

Käytettäessä mittatietoa muuhun kuin säätötarkoitukseen ei sen reaaliaikaisuus välttämättä ole ratkaiseva tekijä, vaan puolenkin sekunnin viiveellä saatava mittatieto on usein aivan yhtä käyttökelpoinen kuin täysin reaaliaikainen. Vaikka mahdollisimman reaaliaikainen tieto tässäkin käytössä on aina parempi ratkaisu, ei sitä välttämättä ole kuitenkaan järkevää tavoitella, jos sen tuoma lisähyöty ei ole suhteessa erikoisnopeiden logiikkakorttien hankinnasta ja väylärakenteen muutoksista koituviin kustannuksiin.

3.4 Häiriöstä toipuminen

Mittalaitteen häiriöstä toipumiskyky ja –nopeus ovat merkittävä valintaan vaikuttava tekijä varsinkin automaattinostureissa. Niin sähkökatkon jälkeisen kuin normaalinkin käyttöönoton nopeuteen vaikuttaa oleellisesti se, tietävätkö mittalaitteet nosturin kunkin akselin absoluuttisen paikan heti ohjausjärjestelmän käynnistyttyä vai vasta referenssiajon jälkeen. Referenssiajon takia saattaa nosturi tai ajorata tarvita erityisiä referenssipisteitä, jotka on pystyttävä tunnistamaan luotettavasti. Tarkoitukseen saattavat sopia nosturissa muussa käytössä olevat anturit, vaikkapa hidastus- ja pysäytysrajat. Suurissa teollisuushalleissa nosturin ajomatka näille rajoille saattaa olla satoja metrejä ja viedä tämän takia aikaa useita minuutteja. Sekä ajallisesti että järjestelmän yksinkertaistamisen takia olisikin edullisempaa, että jokainen mittalaite tietäisi oman absoluuttisen paikkansa heti käynnistettäessä.

Automaattisen referenssiajon tekeminen vaatii ohjelmoijalta niin nosturin liikealueen kuin itse nostrinkin tuntemusta. Törmäyksiä liikealueella oleviin kohteisiin ei saa tulla, eikä liikkeiden suorittamisjärjestys saa missään tapauksessa aiheuttaa törmäyksiä myöskään nosturin omiin rakenteisiin. Häiriön jälkeisessä käynnistämisessä mahdollinen taakan mukana oleminen on tunnistettava, ja tämä on otettava huomioon myös referenssiajoa suunniteltaessa. Prosessin aikakriittisyys saattaa tuoda painetta kotiutusajon nopeuteen, toisaalta turvallisuusnäkökohdat puoltavat referenssiajoa hitaalla nopeudella. Erittäin tärkeä osa automaattisen referenssiajon tekoa onkin perusteellinen testaaminen valmiilla järjestelmällä aidoissa olosuhteissa oikeilla taakoilla ja mitä moninaisimmissa tilanteissa, sekä todennäköisissä että epätodennäköisissä.

Manuaalinen referenssiajo on huomattavasti helpompi toteuttaa, tarpeen on vain määritellä referenssipisteet. Käyttäjä voi havaintojensa perusteella tehdä vain tarpeelliset liikkeet väistellen vain todellisia kohteita liikealueella. Hän voi myös poistaa mahdollisen taakan joko ennen referenssiajoa tai sitä suorittaessaan. Kotiutusajo voikin olla näin tehden nopeampi suorittaa kuin automaattisesti, mutta vaatii aina käyttäjän joko paikan päälle tai riittävän hyvän kamerakuvan ääreen. Käyttäjien koulutus on

oleellisen tärkeää, ettei törmäyksiä tapahdu tietämättömyyden tai osaamattomuuden takia.

Joissakin tapauksissa mittatiedon hävitessä erityisiä referenssiajoja ei tarvita. Jos tuotannonohjaukseen käytettävä mittatieto häviää, otetaan seuranta vain pois käytöstä ja nosturin käyttöä jatketaan ilman automaattista varmistusta. Kun nosturi normaalikäytön yhteydessä liikkuu referenssipisteen ohitse ja mittalaitteet saavat taas paikkatietonsa ajan tasalle, otetaan seuranta automaattisesti uudestaan käyttöön.

3.5 Asentaminen

Mittalaitteistoa asennettaessa niin mekaaniikka- kuin sähkötöitä täytyy usein tehdä nosturin lisäksi myös ajoradan rakenteisiin tai muualle nosturin liikealueelle ja sen läheisyyteen. Laitteisto saattaa tarvita mm. heijastavia pintoja nosturin ulkopuolella tai antureiden vaatimia peilejä, haittoja yms. Joissakin tapauksissa varsinainen mittaava laite asennetaan kiinteisiin rakenteisiin eikä nosturiin. Nosturin ulkopuolisten laitteiden kiinnityksen kuten myös sähkötöiden onnistuminen tulisi aina varmistaa etukäteen asennuspaikalla käymällä.

Asennustöiden onnistumisen kannalta tärkeää on, että ainakin laitteiden kiinnitykseen ja voimansiirtoon liittyvät mekaaniset ratkaisut on suunniteltu ja toteutettu nosturin rakenteita tehtäessä. Myös johdotuksen asennus ja mahdollinen suojaustarve on hyvä suunnitella ennakoon. Ei tule myöskään unohtaa nosturin ulkopuolisten laitteiden kiinnitykseen vaadittuja osia. Uutta nosturia tehtäessä mekaanisten kiinnitysratkaisuiden teko ei yleensä ole ongelma, mutta mikäli asennus tehdään jo olemassa olevaan nosturiin, on mittalaitteiston valinnassa otettava huomioon, millaisia mekaanisia muutostöitä sen takia joudutaan tekemään, ja ovatko ne järkevästi toteutettavissa. Ylhäällä ajoradalla olevan nosturin kantopyörän akselin keskelle pyörivää anturia varten käsityökaluilla tehty kierrereikä on hankala toteuttaa, ja vähäinenkin poikkeama akselin keskilinjasta saattaa aiheuttaa anturin mekaanisen rikkoitumisen hyvin pian.

Nosturin ulkopuolelle tulevien laitteiden tai niiden osien kiinnittäminen saattaa olla merkittävä osa koko laitteiston hankinta- ja asennuskuistannuksesta. Esimerkiksi viivakoodin kiinnittäminen vaatii tasaisen pohjan, joka on muutaman sentin tarkkuudella samalla etäisyydellä nosturista koko nosturin liikealueella. Tällaisen järjestelmän asennukseen tarvitaan mekaanisia osia kiinnitysalustan kiinnittämiseksi ajoradan tai rakennuksen rakenteisiin. Lisäksi itse viivakoodin kiinnittäminen ylhäällä nosturiradalla muutaman millin tarkkuudella oikeaan korkeuteen voi olla vaativa ja aikaavievä toimenpide.

3.6 Kokonaiskustannus

Kokonaiskustannus pitää sisällään kaikki laitteiston elinikään aiheuttamat kulut, nykyään joissakin tapauksissa arvioidaan myös laitteiston käytöstä poistamisesta ja hävittämisestä aiheutuvat kulut. Hankinta-, asennus- ja käyttöönottokulut ovat yleensä melko tarkasti tiedossa tai arvioitavissa, vaikeampaa sen sijaan on määritellä laitteiston aiheuttamia kuluja tämän jälkeen.

Huolto- ja ylläpitokuluista voi saada viitteitä laitteiston dokumenteista. Usein valmistaja määrittelee huoltotarpeen ja –toimenpiteet laitteistolle. Laitteiston toimivuutta tai rikkoutumisherkkyyttä kyseisissä olosuhteissa on kuitenkin vaikeampi ennustaa, ja tätä kautta myös toimintakatkosten tai korjausten seurauksena tulevien tuotantokatkosten kustannusvaikutusta on vaikea arvioida. Mikäli nosturi on kriittisessä osassa prosessissa, on varaosien nopea saanti tärkeää. Useimmiten loppukäyttäjällä on varsinkin tällaisen nosturin ollessa kyseessä oma kattava varaosavarasto vähemmänkin kriittisistä osista. Mikäli mittalaitteisto tai sen osa on kuitenkin huomattavan kallis, ei sitä välttämättä haluta varaosavaraston arvoa kasvattamaan.

Valmistajan ja loppukäyttäjän aikaisempia kokemuksia eri mittalaitteistoista ja valmistajista kannattaa kokonaiskustannustakin arvioitaessa käyttää hyväksi. Kuten aiemmin jo mainittiin, saattaa loppukäyttäjällä olla omien käyttökokemusten pohjalta laadittu suosituimmuus- tai musta lista, joista ilman hyviä perusteluja ei poiketa.

Varsinkin jos valmistajalla ei ole entuudestaan kokemusta loppuasiakkaan ympäristöolosuhteista, käyttäjistä ja huollosta, on loppukäyttäjältä saatu toive tai kielto hyvä lähtökohta mittalaiteratkaisua suunniteltaessa. Lisäksi valmistajan tulee muistaa varsinkin kokonaiskustannuksen kohdalla, että myös takuuajan umpeuduttua saattaa kuluja rikkoutuneesta tai vajavaisesti toimivasta mittalaitteistosta koitua myös valmistajalle, vähintäänkin maineen heikkenemisen myötä.

4 Nykyiset mittausjärjestelmät

4.1 Pyörivät anturit

Pyöriviä antureita on tarjolla lukematon määrä useilta kymmeniltä eri toimittajilta. Tarjolla on sekä inkrementti- että absoluuttiantureita. Fyysiset mitat ja kiinnitysmahdollisuudet vaihtelevat suuresti. Antureita on sekä suoraan suurienkin akselien ympärille kiinnitettäviä että kytkimien tai vaihteiston kautta akselin napaan asennettavia (kuva 2). Momenttituki tai muu pyörimistä estävä rakenne kuuluu anturin rakenteeseen, mutta voi olla tapauskohtaisesti valittavissa. Resoluutio on mahdollista valita yhdestä aina kymmeniin tuhansiin kierrosta kohti. Vaihteistolla tai muulla välityssuhteen muutoksella tätä saadaan vielä tarvittaessa muutettua. Varsinainen pyörimisen havainnointiin on myös useita mahdollisuuksia: optisesti reikälevyä seuraten, magneettisesti hammasrattaista, induktiivisesti haitasta tai sen puuttumisesta. Havainnointi voi tapahtua niin anturin sisällä kuin ulkopuolella.

Valintaan vaikuttavat mm. käyttöympäristön olosuhteet, lämpötila ja -vaihtelut, kosteus, värinä jne. Saatava signaali on useimmiten valittavissa. Analogisten jännite- tai virtaviestien lisäksi digitaalinen viesti resoluution edellyttämällä bittimäärällä on mahdollista saada mitä erilaisimpiin väyläratkaisuihin sovitettuna. Monissa tuoteperheissä on mahdollista valita kaikista näistä ominaisuuksista juuri kyseiseen sovellukseen sopivat ominaisuudet, niin kiinnitystapa, kiinnitysakselin koko kuin resoluutiokin. Toimitusaika ja hinta tosin saattavat tällöin poiketa suurestikin hyllystä löytyvästä vakioanturista.

Variaatioiden moninaisuus mahdollistaa nosturin paikanmittausjärjestelmän lisäksi käyttämään saman tuoteperheen tai valmistajan tuotteita myös muihin tarkoituksiin, esim. moottoreilta taajuusmuuttajille tulevaan takaisinkytkentätietoon. Näin toimittajien ja varaosien määrää saadaan vähennettyä.



Kuva 2. Vasemmalla samaan sarjaan kuuluvat anturit, ylempi absoluuttianturi ja alempi inkrementtianturi. Oikealla suoraan 11 kW moottorin akselille asennettu inkrementtianturi.

Yksinkertaisimmassa ratkaisussa riittävällä resoluutiolla varustettu absoluuttianturi kiinnitetään nosturin pyörän akselille ja saatu signaali skaalataan logiikalla pyöräkoon mukaan. Esimerkiksi 8-bittisellä järjestelmällä saadaan pyörä jaettua 256 osaan. Kun tällainen anturi asennetaan halkaisijalta 600 mm pyörän akselille, päästään järjestelmällä noin 2,3 mm paikoitustarkkuuteen. Jos pyörimisnopeus on melko matala kuten nosturissa (alle 1,5 r/s), voidaan anturi kiinnittää suoraan akseliin, kunhan momenttituki on joustava. Muussa tapauksessa anturin ja akselin väliin on laitettava kytkin, joka eliminoi tai ainakin vaimentaa anturiin rakenteisiin kohdistuvaa vääntöä ja tärinää.

Anturi pyritään aina sijoittamaan ei-vetävään pyörään, jotta kiihdytyksissä ja jarrutuksissa esiintyvä luisto ei vaikuttaisi mittaustulokseen. Käytännössä myös näin toteutetussa mittajärjestelmässä esiintyy poikkeamia johtuen esim. huonosta ajoradasta. Tämän takia järjestelmä vaatiikin referenssipisteen, missä paikkatieto voidaan varmistaa ja päivittää. Lyhyellä ajoradalla referenssipisteeksi käy vaikkapa ajoradan päädyn hidastusalueen raja, pidemmällä ajoradoilla pitää pisteitä sijoittaa myös muualle.

Luistoa voidaan yrittää poistaa tekemällä anturille oma erillinen pyöränsä, joka on pinnoitettu kumilla mahdollisimman suuren kitkan aikaansaamiseksi. Pyörää painetaan painoilla tai jousivoimalla ajorataa vasten. Tämäkään järjestelmä ei kuitenkaan takaa täysin luotettavaa tulosta, mm. kuurasta tai voitelurasvasta liukastuneella ajoradalla ei kuminkaan pito välttämättä riitä. Sekä tässä että edellisessä järjestelmässä on lisäksi otettava ajan myötä pyörien kulumisesta johtuva paikan poikkeama huomioon. Yhden millin ura alun perin 600 mm pyörässä tarkoittaa 800 m pitkällä ajoradalla noin 85 cm:n heittoa.

Varmin tulos pyörivällä anturilla saavutetaan, kun sitä pyörittää hammasratas. Hammasrataan vastapariksi joko asennetaan ajoradan rakenteisiin hammastanko tms., jota vasten anturin hammasratasta painetaan, tai pingoitetaan ajoradan päätyjen välille hammashihna, joka pyörittää hammasratasta nosturin liikkeessä. Periaatteessa hihna voi olla kiinni myös nosturissa ja anturi kiinteissä rakenteissa; tällöin tarvitaan kaksinkertainen määrä hihnaa ja taittopyörät nosturiradan päihin. Hihna ei sovellu kovin pitkille matkoille mm. venymisestä johtuen, hammastanko taas on hankala asentaa. Suuret lämpötilavaihtelut saattavat heikentää järjestelmän toimivuutta tai tarkkuutta varsinkin metallisilla hammastangoilla. Sen sijaan höyry- ja pölypilvet eivät juurikaan vaikuta näiden järjestelmien toimintaan, kunhan lika ei keräänny tangon, hihnan tai rataan hampaisiin ja itse anturin riittävästä suojausluokasta on huolehdittu.

Noston kyseessä ollessa vastapari hammasratalla voidaan hammastaa joko suoraan nostotelan ulkoreunaan tai järjestää voimansiirto muuten välitysten kautta keskiakselilta. Akselianturi suoraan nostotelan akselille asennettuna on usein helpoin vaihtoehto. Kun pyörien kautta paikkaa mitatessa tulee ottaa pyörien kuluminen huomioon, on nostossa huomioitava nostotelan kuluminen sekä köysien venyminen ajan myötä. Näiden molempien vaikutus saadaan poistettua käyttämällä vaijerivetoanturia (kuva 3). Siinä jousipalautteinen vaijerikela on yhdistetty joko suoraan tai välitysten kautta hammasrattailla absoluuttiakselianturiin. Sopivilla välityksillä ja anturilla päästään helposti alle millin paikoitustarkkuuteen. Itse mittaava laitteisto sijoitetaan nostovaunuun, vaijerin pää taas kiinnitetään nostoapulaitteeseen tai vastaavaan.

Tarvittaessa vaijeri voidaan ohjata kulkemaan taittopyörien kautta. Järjestelmä sopii niin pystysuoran kuin vaakasuoran liikkeen mittaamiseen, mutta ei juurikaan yli kymmenen metrin matkoille. Rajoittavaksi tekijäksi tulee vaijerikelan palautusjousi. Mikäli vaijeriin kohdistuu mekaanista kulutusta, on sen kuntoa tarkkailtava säännöllisesti. Jo pienikin taite vaijerissa voi saada sen kelautumaan vaijerikelalle väärin jo kelalla olevan vaijerin päälle, jolloin mittatieto ei enää pidä paikkaansa.



Kuva 3. Vaijerivetoanturi, jossa anturi on kytketty suoraan vaijerikelan akselille.

4.2 Laseranturi

Lasermittaus perustuu nosturin ja jonkin kiinteän kohteen etäisyyden mittaukseen ja mittatuloksen muuntamiseen paikkatiedoksi. Yleisimmin mittauslaitteisto on nosturissa ja heijastava pinta kiinteisiin rakenteisiin asennettu. Lasersäde pyritään kohdistamaan mahdollisimman keskelle heijastavaa pintaa. Pitkillä ajoradoilla heijastavaa pintaa pitää suurentaa suhteessa matkaan. Pienikin poikkeama nosturin kohtisuoruudessa suhteessa

ajorataan aiheuttaa lasersäteelle suuren poikkeaman heijastavan kohteen keskipisteestä. 1 cm rako sivuohjauspyörien ja ajoradan välillä mahdollistaa nosturin kääntymisen niin, että 250 m päässä lasersäde poikkeaa 0,5 m keskipisteestä suuntaan tai toiseen. Ajoradan epätasaisuudet vaikuttavat lisäksi pystytasossa tapahtuvaan vaihteluun. Asennettaessa laseranturi kiinteisiin rakenteisiin ja peili nosturiin saadaan nosturin vinossa kulkemisesta aiheutunut haitta poistettua. Tämä asennustapa onkin parempi varsinkin, jos myös ohjauskeskus on ”lattialla” eikä nosturiin asennettuna.

Nosturisovelluksissa, kuten teollisuussovelluksissa yleensäkin, käytettävät etäisyysmittaukset vaativat tavallisesti jatkuvaa mittausta. Käytettävät lasermittausanturit perustuvatkin yleisimmin vaihesiirtymään. Siinä joko pulsseina tai yhtenäisenä lähetettävän lasersäteen kulkema matka lasketaan lähetetyn ja vastaanotetun säteen välisestä vaihesiirtymästä [1]. Pitempien matkojen mittaukseen mm. maanmittaustekniikassa käytettävät lasermittarit taas perustuvat useimmiten hyvin lyhyiden laserpulslien lähetyksen ja vastaanoton välisen ajan mittaamiseen. [2].

Periaatteessa nosturin epäsuoruus voitaisiin korjata laseranturilla mitatessa, ja tällöin anturi olisi nosturissa ja heijastavalla pinnalla olisi myös tunnistin. Tunnistin havaitsisi lasersäteen poikkeaman keskipisteestä. Nosturin sijainnista ja poikkeaman suuruudesta laskettaisiin korjaukseen vaadittavat ohjaustoimenpiteet periaatteella mitä kauempana nosturi on tunnistimesta, sitä pienemmällä kertoimella ohjausta vahvistettaisiin. Tietävästä nosturikäytössä ei kuitenkaan tällaisia mittausjärjestelmiä ole.

Lasermittaus sopii hyvin automaattinostureille. Se tietää paikkansa heti käynnistettäessä eikä erillistä referenssiajtoa tarvita. Mitattava liike voi olla niin vaaka- kuin pystysuoraakin. Laser voidaan sovittaa helposti erilaisiin lämpötilaolosuhteisiin. Useisiin lasermittareihin on laitevalmistajilta saatavana sekä lämmitys- että jäähdytysmahdollisuus. Likaisissa olosuhteissa sekä mittalaitetta että peiliä tulee puhdistaa säännöllisesti. Nosturin toiminta-alueella esiintyvät pöly- ja kaasupilvet saattavat aiheuttaa häiriöitä: lasersäteen on oltava yhtenäinen peilin ja mittalaitteen välillä koko ajan. Tästä syystä lasermittaus ei ilman erikoisjärjestelyjä myöskään sovellu nosturiin, jonka toiminta-alueella liikkuu muita nostureita joko samalla

ajoradalla tai poikittain nosturiin nähden. Lasersäteen katkeaminen toisen nosturin rakenteiden takia aiheuttaa häiriön paikan mittaukseen. Tarkkuus riittää lähes poikkeuksetta varsinkin automaattinosturisovelluksiin, vasta matkan kasvaessa useisiin satoihin metreihin alkaa vaihesiirtymään perustuva mittaustapa olla liian epätarkka varsinkin nosturin liikkeiden säätöä ajatellen. Niin peilin kuin mittaussyksikönkin mekaaninen asennus on yleensä helppo, lasersäteen kohdistus onnistuu usein parhaiten laitteen valmistajan säädettävällä kiinnitysalustalla. Sähköisiä kytkentöjä varten on useimmiten saatavana kattava valikoima valmiskaapeleita, myös tiedonsiirto mittaussyksikön ja ohjelmiston välillä onnistuu ohjelmiston ja laitteiston vaatimalla tavalla.

4.3 Viivakoodianturi

Viivakoodipaikannuksessa kiinteisiin rakenteisiin liimataan viivakoodinauha, jota luetaan liikkuvasta kohteesta lukijalla noin 10 cm etäisyydeltä. 5 cm korkeassa nauhassa on yksilöllisiä viivakoodeja peräjälkeen muutaman sentin välein. Järjestelmällä toteutettu paikannus tietääkin sijaintinsa heti, kun ensimmäisen viivakoodi on luettu. Maksimissaan paikkatiedon mittaus onnistuu jopa 10 km:iin asti. Matkalla saa olla myös kaarteita, kunhan oikea lukuetaisyys säilyy. Paikoitustarkkuus on millimetrin luokkaa sillä edellytyksellä, että viivakoodinauhan liimaus on onnistunut eikä siinä ole ruttuja tai katkoksia jatkokohdissa. Nauhan kiinnitystä varten tarvitaankin tasainen, yhtenäinen ja mieluiten pystysuora pinta, joka jatkuu ajoradan suhteen samalla korkeudella koko liikealueen matkan. Pystysuoralla pinnalla varmistetaan, ettei nauhan päälle kerry luentaa häiritsevää likaa. Myös lukijan optiikka tulee pystysuoraan asennettuna hyvin suojatuksi. Toiminta-alueella esiintyvät höyry- ja pölypilvet eivät juurikaan häiritse paikannusta, koska luentamatka on lyhyt. Käyttöympäristön lämpötilan pudotessa pakkaselle vaaditaan lukijan optiikalle lämmitys. Yli +40 °C jatkuvaa lämpötilaa ei suositella. Lämpötilavaihtelut on otettava huomioon myös viivakoodinauhan kiinnitysalustan materiaalia valittaessa, jotta lämpölaajeneminen ei vaikuta paikoitukseen.

Nosturisovelluksissa ei viivakoodipaikannusta yleensä käytetä. Viivakoodinauhan ja etenkin sen kiinnitysalustan asennustyö on hankala, aikaavievä ja kallis toimenpide, varsinkin kun ottaa huomioon tehdashallien ympäristön. Likainen käyttöympäristö asettaa huollolle omat vaatimukset: optiikan kunnosta huolehtimisen lisäksi myös viivakoodinauha tulee puhdistaa ajoittain. Noston mittaamiseen nosturissa viivakoodi ei sovellu. Koska järjestelmä on lisäksi hankintahinnaltaan kallis, on nosturisovelluksissa käytetty muita mittaussuomenetelmiä. Sen sijaan viivakoodia käytetään korkeavarastojen hyllystöhisissä sekä hyvin pitkillä matkoilla, mm. siirtovaunuissa. Hyllystöhisissäkin vähintään samat ominaisuudet kuin viivakoodilla saavutetaan lasermittauksella kokonaiskustannuksiltaan edullisemmin. [3].

4.4 Absoluuttilineaarianturi

Absoluuttilineaarimittausjärjestelmä koostuu mittaelementistä ja lukijasta (kuva 4). Mittaelementti on alumiiniprofiili, jonka sisälle on asennettu magneetteja tiettyyn järjestykseen. Mittaelementtejä kiinnitetään koko nosturin liikealueelle tarkasti samalle etäisyydelle toisistaan erityisellä asennustyökalulla. Jokainen liikealueelle tuleva elementti on erilainen magneettien sijoitukseltaan, ja ne tuleekin asentaa juuri oikeaan järjestykseen. Lukija liikkuu mittaelementistä noin 25 mm etäisyydellä tunnistuen kerralla useamman magneetin, joiden perusteella se tietää aina absoluuttisen paikkansa.

Järjestelmällä päästään aina 1,7 km pituiseen absoluuttiseen mittaukseen asti, alle 1 mm toistotarkkuudella. Mittaelementin pituus vaihtelee mitta-alueen pituudesta riippuen 1,4 m ja 2,5 m välillä, tuenta mittaelementeille onkin suunniteltava tapauskohtaisesti. Lukijan pituus taas vaihtelee 0,9 m ja 2,0 m välillä periaatteella mitä pidempi mitta-alue, sitä pidempi lukija. Saatavana on myös ”kehittynyt” malli, jossa lukuetaisyys on suurempi, mutta toistotarkkuus huonompi ja mitta-alueen pituus pienempi. Lukijan pituus tässä mallissa maksimipituusella noin 550 m matkalla on 2,5 m.



Kuva 4. Sickin Pomux mittausjärjestelmä. Ylhäällä lukija, alhaalla mittaelementti.

Koska mittaus perustuu magneettien tunnistamiseen, tulee sekä mittaelementtien että lukijan olla noin 10 cm etäisyydellä magnetoituvasta materiaalista. Käytännössä tämä tarkoittaa nosturisovelluksissa mittaelementtien asentamista ajoradan sivulle rosterista valmistettujen ”oksien” päälle. Rakennuksen seiniä tai kattoa voidaan joissakin tapauksissa hyödyntää, hyllystöhissin kyseessä ollessa kenties myös lattiaa. Asennustyö onkin tämän mittatavan suurin heikkous. Sekä pysty- että vaakatasossa sallitaan vain 10 mm poikkeaminen keskilinjasta. Käytettäessä ”kehittyntä” lukijaa asennustoleranssi tuplaantuu, mutta on edelleen varsin vaativa toteuttaa.

Muilta ominaisuuksiltaan absoluuttilineaarimittaus on sen sijaan erittäin sovelias muuttuviin tehdasolosuhteisiin. Mittausmatka on riittävä suuriinkin tehdashalleihin. Resoluutio ja mittatarkkuus ovat riittävät mihin tahansa nosturisovellukseen, tässäkin järjestelmässä koko kapasiteettia ei nosturisovelluksissa tarvitse käyttää. Lika, pöly ja kosteus eivät haittaa mittausta olivatpa ne sitten ilmassa tai kertyneinä mittaelementteihin ja lukijaan. Myöskään elementteihin magneettien kohdille kertyvä rautapöly ei vaikuta mittaukseen. Käyttölämpötila on laaja, kehittyneellä versiolla $-30\text{ °C} \dots +70\text{ °C}$. Mittaelementtien lämpölaajeneminen ei juurikaan vaikuta mittaustarkkuuteen ($28\text{ }\mu\text{m/ °C/m}$). Merkittävämpi asia on asennusaluista ja –tapa, tämäkin vain pidemmällä ajoradoilla. Samalla ajoradalla voi olla miten monta järjestelmää hyödyntävää nosturia tahansa, jokaiseen vain asennetaan oma lukijansa.

Kalliit asennuskulut saattavatkin kompensoitua sillä, että absoluuttinen paikkatieto saadaan useammalle nosturille vain lukijat asentamalla ja ohjelmistot päivittämällä. Näin kaikkien nostureiden kokonaiskulut saattavat jäädäkin varsin kohtuullisiksi. [4].

4.5 Ultraäänianturi

Ultraäänimittaus muistuttaa lasermittausta. Yleensä liikkuvasta kohteesta lähetetään pulssi heijastavan pinnan kautta takaisin vastaanottimeen. Edestakaiseen matkaan kuluneesta ajasta lasketaan matka, joka muutetaan liikkuvan kohteen paikkatiedoksi. Laserista poiketen ultraääntä on kuitenkin vaikea kohdistaa. Keila levenee matkan kasvaessa, ja vastaanotin saakin helposti ympäröivistä rakenteista tai muista alueelle liikkuvista kohteista aiheutuneita virheheijastumia. Joissakin käsimittareissa tätä on kompensoitu lisäämällä mittariin useampi laserosoitin, jotka simuloivat keilan muotoa [5, s. 6]. Myös tehdashalleissa esiintyvät kovat iskuäänet saattavat sekoittaa mittausta. Mittausmatka on maksimissaan korkeintaan muutamia kymmeniä metrejä, lisäksi tarkkuus on moneen sovellukseen heikohko, noin 1 % mitattavasta matkasta. [6].

Varsinaiseen paikan mittaukseen ultraäänestä ei nosturisovelluksissa olekaan kuin korkeintaan poikkeustapauksissa lyhyellä liikematkalla tai nostoapulaitteeseen sijoitettuna korkeuden mittaukseen. Sen sijaan törmäystutkana sitä voidaan käyttää. Ääniaallot heijastuvat hyvin toisen nosturin eri pinnoista, eikä erillisiä peilejä tms. tarvita. Mittausmatkaksi riittää noin 15 m, tällä matkalla täydellä vauhdilla toisiaan kohti ajavat nosturit saadaan pysäytettyä turvallisesti. Valmiissa törmäyksenestosovelluksissa on etäisyyden mittauksen lisäksi laskentaan integroitu samalla anturilla tapahtuva nopeuden mittaus, ja tällöin järjestelmä voi suhteuttaa hidastusmatkan ja hidastuvuuden tutkittavien kohteiden nopeuseroon.

4.6 Paikannus

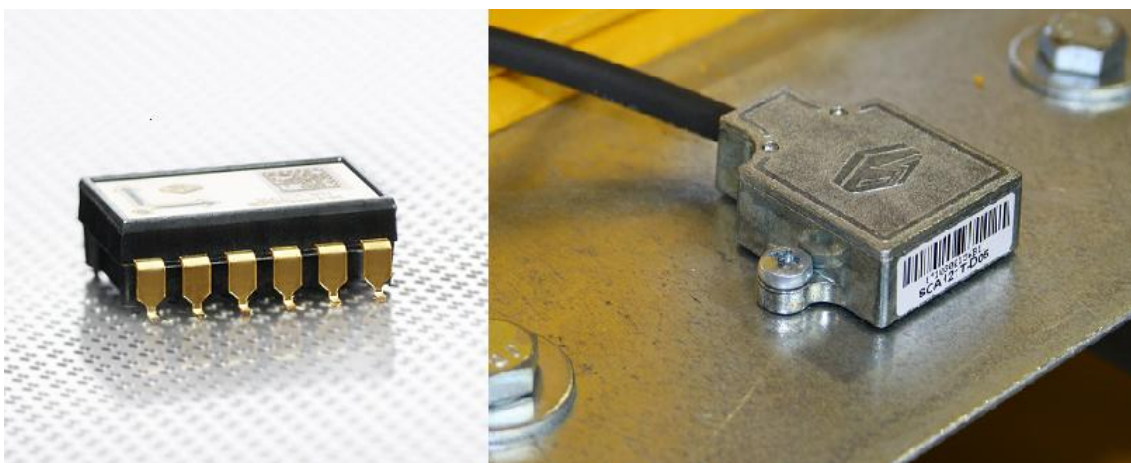
Paikannus perustuu GPS-järjestelmään, jossa satelliiteista saatavan signaalin sijaan tai lisäksi käytetään erillisien lisälähettimien signaaleja. Ulkotiloissa samanlaisia yhdellä tai useammalla lisälähettimellä GPS-järjestelmän paikoitusta tarkkentavia paikoitusmenetelmiä on käytetty mm. maataloudessa. Sisällä lisälähettimillä toisaalta korvataan katvealueilta puuttuva satelliittisignaali, toisaalta tarkennetaan paikoitusta. Nämä lähettimet asennetaan kattamaan nosturin liikealue niin, että mahdollisimman monella lähettimellä on suora näköyhteys nosturissa sijatsevaan vastaanottimeen koko ajan. Laitteistoa valmistavan ja markkinoivan Navivan kehityspäällikkö Sami Laitisen [7] mukaan 6-8 lähettimellä päästään noin 10 cm paikoitustarkkuuteen yhdessä tasossa. Korkeuden mittausta toimii korkeintaan suuntaa antavasti. Samojen lähettimien toiminta-alueelle voidaan lisätä kuinka monta vastaanotinta tahansa.

Asennusta varten jokaiselle lähettimelle on määriteltävä tarkka paikka. Rakennuksen koolla ei ole merkitystä, vaan järjestelmä toimii jopa paremmin mahdollisimman avarassa tilassa. Paikannukseen eivät vaikuta lämpötilavihtelut tai alueella esiintyvät pöly- tai kaasupilvet. Sen sijaan signaalin ja vastaanottimen välissä olevat esteet pysäyttävät signaalin, lisäksi varsinkin teräsrakenteet aiheuttavat virheitä paikannukseen heijastuksillaan. Järjestelmä ei vaikutakaan sopivalta nosturikäyttöön tehdasympäristössä. Laajoilla ulkoalueilla paikannus saattaisi olla kattavuutensa ansiosta käyttökelpoinen tuotannonohjauksen käyttöön. Asennettaessa lähettimet nostureiden yläpuolelle saatetaan myös välttää ajosiltojen teräsrakenteiden aiheuttamat häiriöt. Suurimmalle osalle nosturisovelluksia paikoitustarkkuus ei kuitenkaan riitä. Kallis hankintahinta ja tarkkuutta vaativa asennus eivät myöskään puolla valintaa, ellei sitten kuluja saada jaettua useammille nostureille. [8].

4.7 Kiihtyvyysanturi

1990-luvun loppupuolelta alkanut kiihtyvyysantureiden yleistyminen ja halpeneminen on tuonut mukanaan mitä erilaisimpia sovelluksia ja käyttökohteita niin leluissa, soittimien lisälaitteissa ja autonhallintajärjestelmissä kuin teollisuuden kunnossapidon seurantavälineenäkin. Matkan mittaamisessa mitattu kiihtyvyys integroidaan, jolloin tuloksena on nopeus, josta uudelleen integroimalla saadaan matka. Käytännön sovelluksissa kiihtyvyysanturia käytetään matkan mittaamiseen mm. auton navigointilaitteissa ja sykemittareissa. Navigoitaessa anturin avustuksella lasketaan kuljettu matka ja suunta silloin, kun kunnollista GPS-signaalia ei saada korkeiden rakennusten välissä tai tunneleissa. Sykemittareissa anturi laskee itsenäisesti tai GPS:n apuna nopeutta ja kuljettua matkaa. [9].

Kiihtyvyysanturi kestää hyvin mitä erilaisimpia ympäristöolosuhteita. Käyttölämpötila ilman kotelointiakin on jo $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ääriolosuhteissa tosin anturin ominaisuudet, mm. tarkkuus, alkavat heikentyä. Antureiden ominaisuudet onkin yleensä ilmoitettu useille eri lämpötila-alueille. Mekaanisesti anturi kestää jopa 20 000 g:n iskuja, poislukien luonnollisesti komponentin liitinjalat. Normaalisti anturi on kuitenkin koteloitu, jolloin jalkojen rikkoitumisesta ei ole vaaraa (kuva 5). Kosteus, pöly tai kemikaalit eivät vaikuta mittaustulokseen. Anturin ominaisuudet ilmoitetaan kiihtyvyyden näkökulmasta. Koska paikka saadaan vasta laskennan kautta eikä nosturikäyttöön tarkoitettuja sovelluksia ole, ei tarkkudesta tai suorituskyvystä matkan mittaamisessa ole edes suuntaa-antavia tietoja. Sähkökatkon tai muun laskennan sotkevan häiriön jälkeen on nosturille tehtävä referenssiajo, ennen kuin paikkatieto taas saadaan.



Kuva 5. Vasemmalla kiihtyvyysanturi, kooltaan noin 10x15x5 mm. Oikealla sama anturi koteloituna, koko n. 40x40x14 mm.

Kokonsa puolesta kiihtyvyysanturi voidaan asentaa – ainakin nosturikäytössä – lähes mihin tahansa. Koteloidunkin anturin mitat ovat korkeintaan senttimetrien luokkaa painon ollessa muutamista kymmenistä satoihin grammoihin. Mekaaninen asennus voidaan tehdä lähes mihin tahansa mieluiten vaakasuoralle pinnalle muutamalla pienellä pultilla. Käytännön sovellusten puuttuessa ei tosin ole tietoa mekaanisen asennuksen vaatimuksista mm. suoruuden suhteen pysty- eikä vaakasuunnassa verrattuna liikesuuntaan. Johdotus on helppo, yhden liikesuunnan mittauksessa jo kolme johdinta riittää analogisen mittatiedon saantiin. Johtojen suojaukseen on sen sijaan panostettava, sillä ainakin analogisena ulostulona käytettävä jänniteviesti on altis häiriöille.

Hinnaltaan kiihtyvyysanturit ovat halpoja. Koteloidun anturin analogisella ulostulolla saa jo alle sadalla eurolla. Mittaus- ja kytkentäominaisuuksien parantuessa hinta luonnollisesti kasvaa. Anturin lisäksi tarvitaan vain mekaaninen kiinnitysalusta, johdotus ja jännitelähde. Logiikalta vaaditaan minimissään – anturin ulostulosta riippuen – analogia-, digitaali- tai SSI-kortti. Sekä mekaaninen että sähköinen asennus on nopea ja helppo. Vaikka mekaaninen suoruusvaatimus olisi suurikin, voidaan se varmistaa sopivin säädöin varustetulla kiinnitysalustalla. Käyttöönoton jälkeen anturi on käytännössä täysin huoltovapaa. Itse käyttöönoton työläydestä tai helppoudesta ei ole tietoa tai edes arviota.

Kiihtyvyyssanturilla tapahtuvalla paikan mittauksella vaikuttaisi olevan paljon hyviä ja tavoiteltavia ominaisuuksia varsinkin vaativissa käyttöolosuhteissa. Sen soveltuvuus nosturikäyttöön on kuitenkin epävarmaa, koska valmiita sovelluksia ei ole eikä testejäkään juuri tähän käyttöön ole tiettävästi tehty.

5 Kiihtyvyysanturin testaus

Edellä esitettyjen ominaisuuksien takia Algolilla heräsi kiinnostus kiihtyvyysanturilla tehtävää paikan mittausta kohtaan. Muihin järjestelmiin verrattuna edullinen hankintahinta, helppo ja nopea asennus sekä käytännössä huoltovapaa rakenne tuottavat kokonaisedullisen lopputuloksen. Ympäristöolosuhteiden minimaalinen vaikutus mittaustulokseen on myös ominaisuus, joka on suuri etu likaisissa ja vaihtelevissa tehdasoloissa. Eniten tulokseen vaikuttavat lämpötilan muutokset on tarvittaessa helppo eliminoida kiihtyvyysanturin kaltaiselta pieneltä, umpinaiselta kappaleelta. Koko anturi voidaan vuorataan eristeellä, joka samalla toimii niin kuumaa kuin kylmääkin vastaan. Pitkäaikaisessa altistuksessa vuoraus on helppo varustaa jäähdytyksellä, lämmityksellä tai molemmilla. Myös soveltuvuus useanlaisiin käyttökohteisiin on suuri etu. Sen sijaan referenssiajon tarve ei yleensä missään sovelluksessa ole tavoiteltava ominaisuus, vaikkakaan se ei useissa tapauksissa ole valinnan este.

Koska varsinaisia sovelluksia tai testejä kiihtyvyysanturin käytöstä matkan mittaamiseen ei löytynyt, päätettiin järjestää testi anturin toiminnasta itse. Tässä testissä kiihtyvyysanturilta laskennan kautta saatua paikkatietoa verrataan samaan kohtaan nosturissa kiinnitetyn absoluuttianturin antamaan sijaintiin. Vertauksen perusteella voitaisiin päätellä, sopiiko kiihtyvyysanturi nosturin paikan mittaamiseen.

5.1 Testijärjestelyt

Testinosturiksi valikoitui automaattinosturi, joka sekä ominaisuuksiltaan että aikataulultaan oli sopiva. Nosturin kokoonpano saatettiin loppuun tammikuussa 2010 Herttoniemessä, asennus asiakkaalle oli helmikuussa ja käyttöönotto helmikuun loppupuolelta alkaen. Sillan molempien päiden paikkaa mitataan laserilla, joten käytettävissä on absoluuttinen vertailumitta. Nosturin jänneväli on 25 m, paino n. 50 tn, nostokapasiteetti 44 tn ja liikematka sillan suunnassa 50 m. Sillan maksimikiihtyvyys on n. $0,3 - 0,4 \text{ m/s}^2$ ja nopeus automaattiajossa 80 m/min eli 1,3 m/s.

Kiihtyvyysanturi valittiin VTI Technologies Oy:n myynti-insinööri Juhani Pelttarin avustuksella [10]. Valinnassa päädyttiin valmiiksi koteloituun myyntimalliin SCA121T-D05, jonka sisällä on VTI:n anturi tyyppiä SCA100T-D02 (kuva 5). Anturi on varsinaisesti kallistusanturikäyttöön suunniteltu, mutta soveltuu myös kiihtyvyyden mittaamiseen. Anturin mittausalue on ± 1 g, syöttöjännite 5 V ja toimintalämpötila -40 °C... $+85$ °C. Vaikka ulostulosta saadaan reaaliaikaista jänniteviestiä, on anturin sisäisten ominaisuuksien takia toistotaajuudeksi luvattu 18 Hz. Virran kulutus anturissa on häviävän pientä, datalehden mukaan vain 5 mA. Periaatteessa anturi antaa nollakiihtyvyydellä vaakasuoraan asennettuna puolet syöttöjännitteestä ulos, -1 g tuottaa (oletetulla 5 V syöttöjännitteellä) 0,5 V ja $+1$ g 4,5 V ulostulojännitteen. Kyseinen anturi ei mittausominaisuuksiltaan ole paras mahdollinen nosturin pieniin kiihtyvyyksiin. Pienemmän kiihtyvyyden alueen antureita olisi kuitenkin ollut tarjolla vain ilman kotelointia. Niihin olisi pitänyt suunnitella ja valmistuttaa kytkentäpiirilevy ja kotelo. Aikataulun kireyden vuoksi päädyttiinkin varastosta saatavaan anturiin, jolla silläkin saataisiin Pelttarin mukaan suuntaa-antavia tuloksia.

Nosturin logiikassa oli valmiiksi analogiakortti, jossa oli myös vapaita kanavia. Johdotus tehtiin kokoonpanon yhteydessä valmiiksi logiikan ja anturin asennuspaikan välille, johtimeksi käytettiin kuusinapaista kierrettyä parikaapelia. Jännitelähteeksi hankittiin Yleiselektroniikasta pieni ”plug-in” -AC/DC-muunnin, jonka ulostulojännite on kiinteä 5 V DC ja maksimivirta 800 mA. Kytkentäkaavio on esitettyä liitteessä 1. Anturille tehtiin yksinkertainen asennuslevy, joka kiinnitettiin samoille C-kiskoille sillan toisen päätyn laseranturin kanssa (kuva 6). Kytkennät tehtiin valmiiksi nosturin kokoonpanon yhteydessä lukuunottamatta logiikalle tulevia johtoja, jottei missään tapauksessa sotkettaisi nosturin käyttöönoton yhteydessä kortin varsinaista toimintaa. Jännitelähde kytketään suoraan logiikkakaapissa olevaan 230 V pistorasiaan. Jännite anturille syötetään yhtä kierrettyä paria myöten, jänniteviesti takaisin tulee yhtä johdinta pitkin. Logiikalle jänniteviestin nollaksi kytkettäisiin testissä jännitelähteen nolla. Kiihtyvyysanturin toimivuus tarkastettiin tässä vaiheessa mittaamalla yleismittarilla jänniteviestiä ja kääntelemällä anturia eri asentoihin.



Kuva 6. Kiihtyvyyssanturi asennettuna laseranturin kiinnityskiskoihin.



Kuva 7. Testinosturi. Kiihtyvyyssanturi ja laser sijaitsevat oikeassa reunassa siltapalkin takana.

5.2 Testi

Testi suoritettiin helmikuun lopussa 2010 asiakkalle asennetulla ja osittain käyttöön otetulla nosturilla (kuva 7). Nosturista puuttui nostoapulaite kokonaan, eikä automaattiajaja ollut tuolloin vielä kokeiltu. Testiin riitti kuitenkin radio-ohjaimella tapahtuva sillan käsinajo noin 20 m pituisella vapaasti käytössä olevalla ajoradalla.

Logiikan analogiakortin vapaa kanava asetettiin sopivalle jänniteviestille samoin kuin logiikan konfigurointi. Anturin kytkentä logiikalle tehtiin loppuun. Kun jännite kytkettiin päälle, sekosivat analogiakortin kaikki kanavat. Syyksi paljastui lopulta eri jännitelähteiden potentiaalierot, jotka saatiin tasattua kytkemällä kiihtyvyysanturin nolla logiikan jännitemittauksen lisäksi myös logiikan omaan nollaan. Logiikalta saatava lukuarvo skaalattiin millivolteiksi logiikan kytkentänaistoista yleismittarilla mitatun tuloksen mukaisesti. Skaalaus tarkastettiin kiilaamalla kiihtyvyysanturi kallelleen, mittaamalla taas yleismittarilla arvo ja vertaamalla sitä logiikan skaalattuun tulokseen. Samalla kallistuksella varmistettiin suunnat. Laserin kasvattaessa lukemaa anturi antoikin negatiivista kiihtyvyyttä. Anturia ei kuitenkaan lähdetty enää kääntämään, vaan suunta korjattaisiin laskennassa. Myös anturin syöttöjännite tarkastettiin ennen testiä.

Logiikalle tehtiin toimintalohko sekä muistilohko datan tallentamista varten. Toimintalohkossa seurattiin laserilta saatavaa todellista paikkatietoa sekä kiihtyvyysanturilta saatavaa millivolttiviestiä. Tiedot kirjoitettiin muistilohkoon yhdelle riville yhdessä kellotiedon kanssa 0,1 s välein. Rivejä muistilohkoon varattiin 3000, mikä tarkoittaa noin 5 minuutin mittaista testiä. Muistilohkoon kirjoitus käynnistettiin tietokoneelta manuaalisesti, ja se toimi siitä eteenpäin aina kun sillan taajuusmuuttajat olivat ”run”-tilassa. Stopin jälkeen tallennus muistilohkoon alkaisi taas alusta, joten koko 5 minuutin jakson ajan nosturi tulisi pitää liikkeessä.

Itse testissä nosturin siltaa ajettiin noin 20 metrin matkalla edestakaisin 5 minuutin ajan käyttäen erilaisia nopeuksia ja kiihtyvyyksiä. Myös käännöspaikkoja muuteltiin. Radio-ohjaimella ohjattaessa nopeus oli rajoitettu 80 prosenttiin sillan maksiminopeudesta 64

m:iin/min. Nostovaunua, nostoa tai kääntöä ei testin aikana liikuteltu. Testin lopuksi logiikkaan tallennettu data siirrettiin Exceliin varsinaista laskentaa ja vertailua varten.

5.3 Laskenta ja tulosten esitys

Excelissä saatu testidata muokattiin numeroarvoiksi oikeaan aikajärjestykseen. Millivoltti viestin muuntamiseksi kiihtyvyydeksi tarvittiin nollakiihtyvyyttä vastaava jännitearvo sekä testipaikkakunnan putoamiskiihtyvyys. Putoamiskiihtyvyys laskettiin testipaikkakunnan leveyspiirin mukaan Taulukot-nettisivustolta, ja arvoksi saatiin $9,8229 \text{ m/s}^2$ [11]. Nollakiihtyvyyssarvo anturilla oli $2,622 \text{ V}$, ja se sekä mitattiin logiikan kytkentänastoilta että todennettiin logiikan laskennasta. Syöttöjännite anturille oli $5,258 \text{ V}$. Anturin ulostulojännite on suhteessa syöttöjännitteeseen [12, s. 10], joten vaakasuorassa olevan anturin ulostulojännite on puolet syöttöjännitteestä eli $2,629 \text{ V}$. Anturi oli siis 7 mV :n arvoa vastaavaa noin $0,3$ astetta vinossa. Tätä ei kuitenkaan yritetty oikaista ennen testiä. Koska anturilla 1 g kiihtyvyys vaikuttaa ulostuloon 2 V , saatiin kiihtyvyyden kaavaksi:

$$a \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = - \frac{(\text{mV} - \text{mV}_0) * 1000}{2} * 9,8229$$

jossa mV on mitattu millivolttiarvo ja mV_0 nollakiihtyvyyden millivolttiarvo.

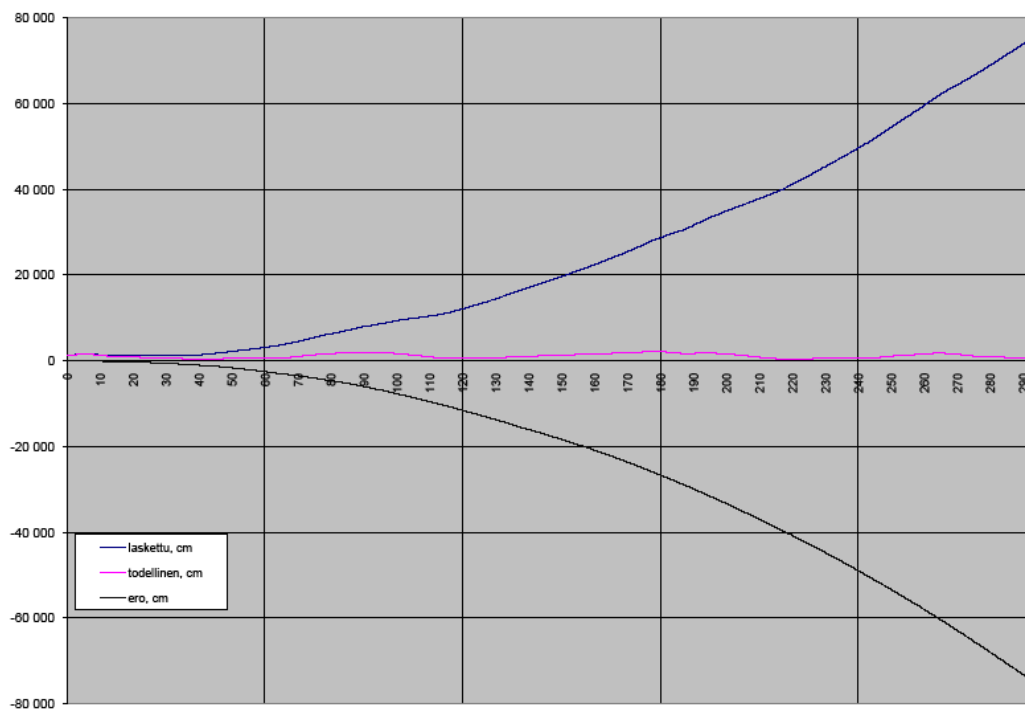
Kiihtyvyys muutettiin ensin integroimalla nopeudeksi ja nopeus edelleen integroimalla paikaksi. Integrointikaavat ovat seuraavat:

$$v(t) = \int a = a\Delta t + v_0$$

$$s(t) = \iint a = \int v = \frac{1}{2} a\Delta t^2 + v_0\Delta t + s_0$$

Kaavoissa v_0 ja s_0 tarkoittavat edellisen mittauksen tuloksena laskettuja arvoja ja Δt kyseisen ja edellisen mittauksen aikojen erotusta. Mittausten ei siis välttämättä tarvitse

tapahtua tasavälein, kunhan oikea aika saaadaan mahdollisimman tarkasti laskentaan mukaan. Lähdettäessä paikaltaan liikkeelle v_0 on nolla ja s_0 sillan senhetkinen sijainti. Lähtötietojen ja laskennan tuloksena saatiin taulukko, jossa on sarakkeet ajalle, laserilta saadulle sillan paikkatiedolle, kiihtyvyydestä lasketulle paikkatiedolle sekä näiden paikkatietojen erotukselle. Tuloksen arviointia varten piirrettiin viivakaavio (kuva 8).

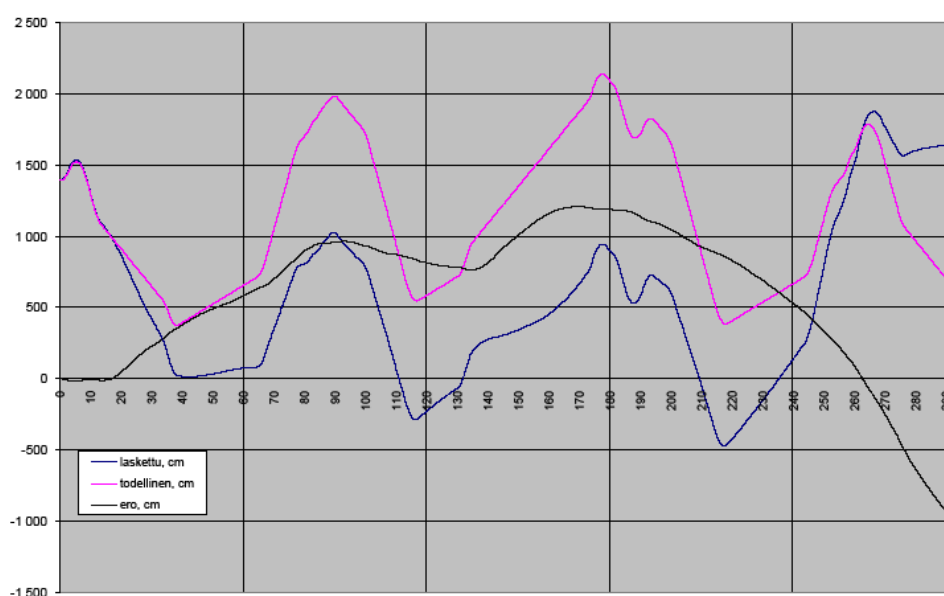


Kuva 8. Nosturin todellinen paikka, laskennasta saatu paikka ja näiden erotus muokkaamattomasta datasta.

Kaaviosta huomataan heti, että laskennalla saatu paikkatieto ”karkaa” nopeasti ollen testin lopussa yli 700 m sillan todellisesta paikasta. Eroa alkaa kertyä tasaisesti heti alusta asti. Parissa sekunnissa ero on 10 cm, 10 s:n kohdalla noin metri, 20 s:n jälkeen 3 m jne. Lasketun paikan kuvaaja näyttäisi jonkin verran seuraavan todellisen paikan kuvaa, mutta ero kasvaa melko tasaisesti toisen asteen polynomin mallilla.

Koska ero kasvaa nimenomaan siihen suuntaan, mihin anturi on kallellaan, pääteltiin, että kallistus vaikuttaa anturin toimintaan, antaa tavallaan ”offsetin” anturille. Tätä vaikutusta pyrittiin poistamaan muuttamalla nollakiihtyvyyden arvoa. Kokeilemalla havaittiin, että vähentämällä nollakiihtyvyydsarvosta 3,5 mV (eli puolet anturilta saadun

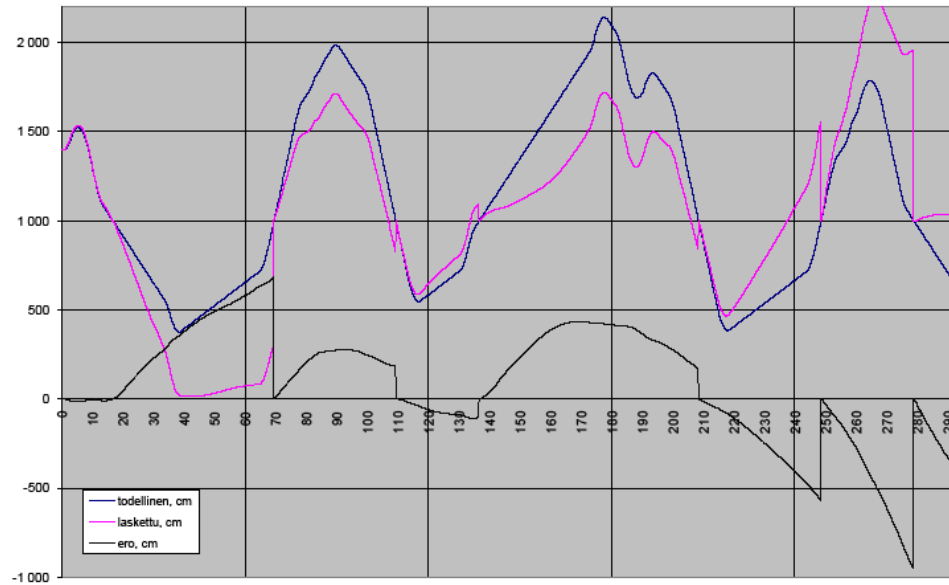
ja jännitelähteen syöttöjännitteestä lasketun nollakiihtyvyyssarvojen erotuksesta) saatiin laskettu paikkatieto seuraamaan jonkin verran todellista paikkaa (kuva 9). Ensimmäisen 18 s:n aikana paikka poikkeaa todellisesta maksimissaan 12 cm molempiin suuntiin, mutta tämän jälkeen ero alkaa kasvaa ollen enimmillään noin 12 m. Kuvaajan muoto on kuitenkin melko yhteneväinen todellisen paikan kuvaajaan. Suunnanmuutokset ja nopeuden vaihtelut näkyvät myös lasketussa kuvaajassa ja tapahtuvat samaan aikaan, mutta kulmat ovat ajoittain toisistaan poikkeavat.



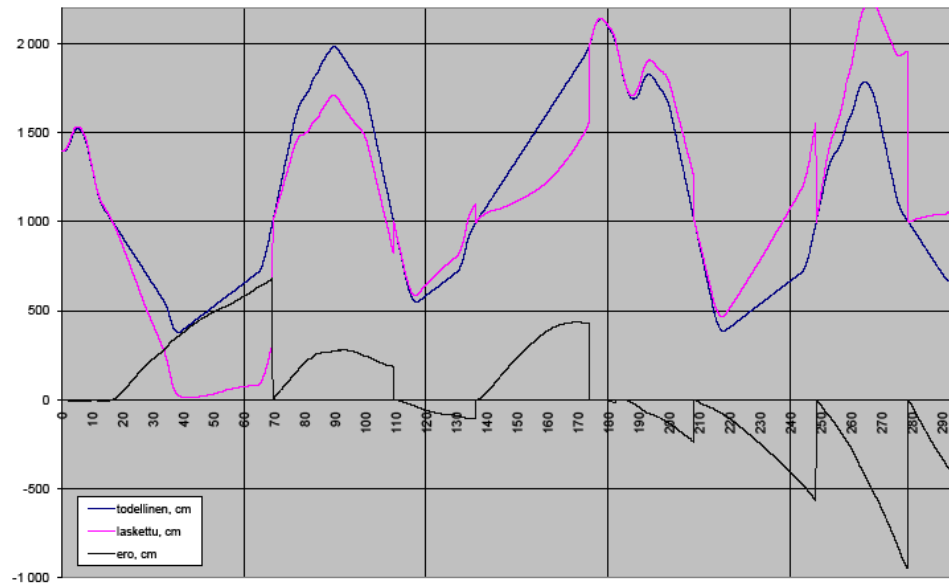
Kuva 9. Laskennan tulos nollakiihtyvyyssarvoa muuttamalla.

Laskennassa kokeiltiin vielä referenssipisteiden vaikutusta kuvaajan käyttäytymiseen kolmella eri tavalla. Samaan tapaan kuin sillan pyöriin asennettujen pyöriä antureiden kanssa tarvitaan tietyin välimatkoin tarkastuspisteitä, tehtiin laskentaan kohtia, joissa laskettu paikka asetetaan samaksi kuin todellinen paikka. Jotta asetuskohda havaittaisiin myös täydellä vauhdilla sen ohi ajettaessa, määriteltiin ikkunaksi ± 5 cm todellisesta paikasta. Ensin kokeiltiin referenssipisteen vaikutusta 10 m:n kohdalla (kuva 10), sitten 10 m:n ja 20 m:n kohdalla (kuva 11) ja kolmannessa laskennassa vielä 5 m:n välein (kuva 12). Kuten oletettavissa on, ero lasketun ja todellisen paikan välillä pienenee, mitä useampaa referenssipistettä käytetään.

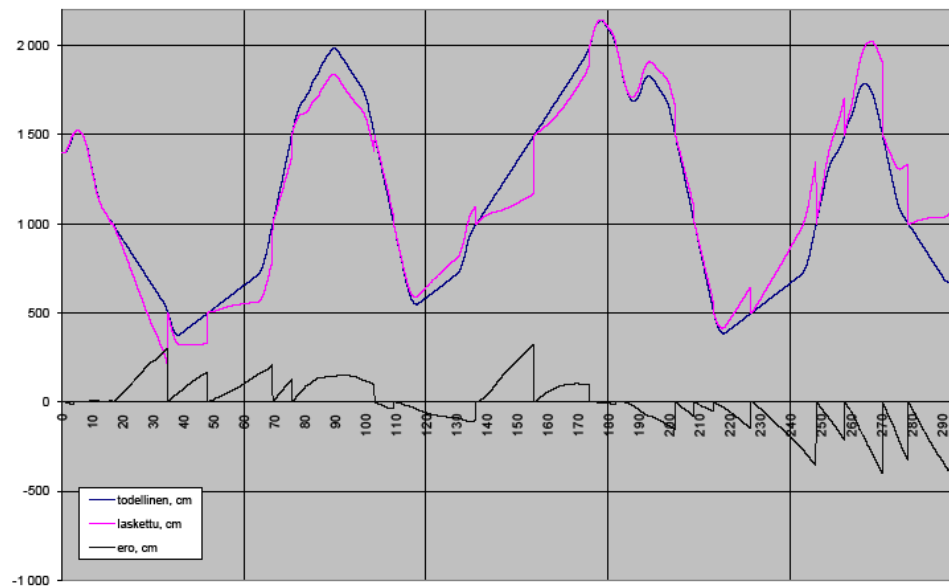
Kuvaajista nähdään, että kahdessa ensimmäisessä kokeessa lasketun paikan ero todelliseen käy pahimmillaan lähellä 10 metriä. 5 m:n välein asetetuilla referenssipisteilläkin ero on useammassa kohtaa lähes 4 m.



Kuva 10. Laskennan tulos, kun käytettiin referenssipistettä 10 m:n kohdalla.



Kuva 11. Laskennan tulos, kun käytettiin referenssipisteitä 10 m:n välein.



Kuva 12. Laskennan tulos, kun käytettiin referenssipisteitä 5 m:n välein.

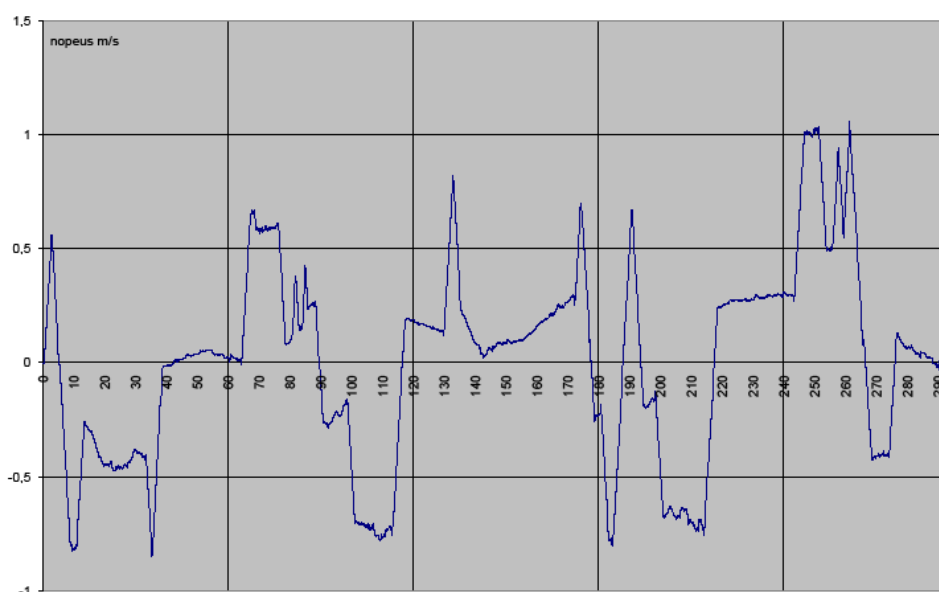
5.4 Tulosten arviointi ja kehitysmahdollisuudet

Kuten viivakaavioista hyvin nähdään, kokeillulla järjestelmällä ei saavuteta nosturisovellusten edellyttämää riittävää tarkkuutta paikan mittauksessa. Testilaitteisto ja laskenta antavat kyllä suunnan ja melko samanmuotoisen kuvaajan. Tarkempi tarkastelu osoittaa, että laskentaa sekoittavat virheet ovat enemmänkin satunnaisia kuin säännönmukaisia. Myöskään referenssipisteiden lisäys ja näiden kohdalla pelkkä paikan korjaus eivät paranna laskennan tulosta riittävästi. Kaksinkertaisen integroinnin ja 10 Hz:n laskentataajuuden seurauksena virhe kumuloituu myös nopeuteen ja näyttäisi vaikuttavan korjattuunkin paikkatietoon nopeasti.

Testissä käytetyssä radio-ohjaimen joystickissä oli kolme pykälää suuntaansa. Nosturin liikuttelussa on näin käytössä kolme eri nopeutta suuntaansa. Nämä nopeudet näkyvät paikan kuvaajassa kolmessa eri kulmassa nousevana tai laskevana viivana (kuva 9). Verrattaessa samassa kulmassa olevaa viivaa aikaväleillä 40-60 s, 120-130 s ja 220-240 s laskennasta saatuun viivaan nähdään, että laskennan viiva on kaikissa kohdissa eri kulmissa, ensimmäisessä kohden loivempi, toisessa kutakuinkin samansuuntainen ja kolmannessa jyrkempi kuin todellisen paikan viiva. Välillä 15-30 s nopeus pysyy kutakuinkin samana, mutta laskenta muuttaa kuvaajan kulmaa kesken tasaisen liikkeen. Testin lopussa noin 275 s:n kohdalla laskenta taas reagoi vauhdin hidastumiseen aivan liikaa.

Kun laskennassa käytetystä nopeudesta piirretään kuvaaja, tuleekin tuloksiin vaikuttavia virheitä selvästi esiin (kuva 13). Liitteessä 2 kuvat 9 ja 13 ovat vertailun helpottamiseksi samassa mittakaavassa alekkain. Teräviä piikkejä nopeuden kuvaajassa esiintyy koko testin ajan. Tämä voi olla seurausta nosturissa koeajon aikana esiintyneistä terävistä nykäyksistä, jotka johtuivat joko liian kapeaksi mitoitetuista ajoradalta suistumisen estävistä teräsrakenteista tai liian leveälle säädetyistä sivuohjauspyöristä. Anturi luonnollisesti havaitsee 10 Hz mittaustaajuudellaan tällaiset nykäykset ja siirtää ne sellaisenaan ilman suodatusta laskentaan. Anturin kevyt kiinnitysalusta ja sijoituspaikka saattavat osaltaan vielä vahvistaa nykäyksiä. Kuvasta 6 nähdään, että anturin kanssa samoille c-kiskoille on asennettu melko raskas laseranturi kiinnitykseen käytettyine

teräsrakenteineen ja että c-kiskot ovat kiinni nosturin runkorakenteissa vain toisesta päästään. Toisaalta nopeuden kuvaajasta nähdään, että tasaisen nopeuden kohdissa tapahtuu ”valumista” satunnaisesti sekä ylös- että alaspäin. Syynä saattaa olla anturin tai sen kiinnitysalustan kallistuminen tärinästä liikkeen aikana, vaikkakaan tämä ei vaikuta todennäköiseltä. Nosturin ajoradassa saattaa myös esiintyä kallistumia eri suuntiin. Jonkin verran viitteitä tästä näyttäisi olevan välillä 5-10 m. Silloin kun nosturi on liikkunut tällä alueella, eli noin 25 s:n, 110 s:n ja 210 s:n kohdalla, nopeuden kuvaajasta nähdään samankaltainen laskeva trendi. Sen sijaan 70 s:n ja 230 s:n kohdassa, nosturin edellen liikkeessä samalla alueella, trendi näyttäisikin olevan nouseva. Lisäksi ajoradan tulisi olla selvästi kallellaan, ennen kuin vaikutus mittaustulokseen olisi näin suuri. Niinpä todennäköisimmäksi vaihtoehdoksi jääkin anturin antama väärä kiihtyvyyssarvo.



Kuva 13. Laskennasta saatu nopeuden kuvaaja.

Kuten testikuvauksen alussa jo mainittiin, testissä käytetty anturi ei ollut paras mahdollinen pienien kiihtyvyyksien mittaamiseen. Anturin mittausalue ± 1 g on yli 20-kertainen testinosturin suorituskykyyn $0,4 \text{ m/s}^2$ verrattuna. Testissä suurin mitattu kiihtyvyys oli $-0,56 \text{ m/s}^2$, ajoittuen noin 35 s:n kohdalla nopeuskuvaajassa esiintyvään piikkiin. Todennäköisesti kyseessä on jo aiemmin kuvattu nosturin teräsrakenteiden

osuminen ajorataan. Anturin suuren mittausalueen seurauksena pienet kiihtyvyydet ja muutokset saattavat hukkaa riittämättömään resoluutioon niin anturin kuin logiikan analogiakortinkin osalta. Tässäkin anturissa esiintyy lisäksi kohinaa, joka vaikuttaa tulokseen sitä enemmän, mitä pienempiä arvoja mitataan. Toisaalta anturin antama jänniteviesti on herkkä häiriöille. Tämä yhdistettynä noin 10 m mittaiseen välikaapeliin ja sokeripalaliittimillä tehtyihin kytkentöihin saattoi osaltaan vaikuttaa häiriöihin ja analogiakortille tulleeeseen jännitteeseen. Testiä tehtäessä testialueella ollut $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$:n pakkanen lienee myös osaltaan vaikuttanut tulokseen, ollaanhan aivan anturin toimintalämpötila-alueen toisessa ääripäässä. Vertailudataa ei luonnollisesti ole, ja mittausjärjestelmän tulee toki sietää näitäkin olosuhteita. Mikäli mittausanturin lämpötila kuitenkin oikeasti vaikuttaa tulokseen, on se jokseenkin helppo kompensoida lämmittämällä tai jäähdyttämällä, kuten aiemmin jo kuvailtiin. Anturin datasivuilta löytyy lisäksi valmis kaava lämpötilakompensointiin. Tämän laskennan lisääminen ohjelmaan vaatisi luonnollisesti lämpötilan jatkuvaa havainnointia ja tiedonsiirtoa logiikalle.

Kiihtyvyyssanturiin perustuvan mittausjärjestelmän kehittäminen tulisikin aloittaa etsimällä mahdollisimman pienen kiihtyvyyden alueen anturi, jossa on alhainen kohinataso ja hyvä lämpötilavaihteluiden sieto. Useilta valmistajilta on saatavana $\pm 0,5\text{ g:n}$, joiltakin jopa $0,25\text{ g:n}$ antureita. Digitaalinen ulostulo riittävällä resoluutiolla vähentäisi varmasti myös kohinaa verrattuna analogiseen ulostuloon varsinkin suurimmissa prosessinostureissa, joissa kaapelointireitit sillan päädyistä logiikalle saattavat olla 40 metriä. 16-bittisellä järjestelmällä saadaan $\pm 0,5\text{ g:n}$ anturista jo $0,00015\text{ m/s}^2$ resoluutio. Vertailukohtana tässä testissä tunnistettiin 1 mV:n jännitemuutokset, joka vastaa noin $0,005\text{ m/s}^2$ kiihtyvyyttä. Anturin kiinnittäminen tulee järjestää siten, että anturi on täysin vaakasuorassa sekä x- että y-suunnassa. Myös anturin suunta pitää olla täsmälleen suorassa liikesuuntaan nähden. Suuntaa voidaan tosin korjata myös laskennalla, jos anturissa on kahden suunnan mittaus ja logiikkaan saadaan myös y-suunnan mittaustieto. Ajoradassa esiintyville korkeusheitoille ei yleensä voida mitään. Näiden mahdollinen vaikutus mittaustulokseen olisi ensin selvitettävä ja tarvittaessa kompensoitava, mutta todennäköisesti ne eivät vaikuta ratkaisevasti tulokseen.

Muunnettaessa millivoltti- ja kiihtyvyydestä käytettiin kaavana yksinkertaista, anturin tiedoista johdettua kertolaskua. Tarkempaan tulokseen päästään, jos anturista saataisiin useamman kiihtyvyyden todellinen arvo ja näistä arvoista muodostettaisiin laskukaava. Arvot sijoitettaisiin jännite/kiihtyvyys-koordinaatistoon ja pisteiden välille piirrettäisiin esimerkiksi toisen asteen polynomin mallin mukainen trendiviiva. Testissä käytetyllä anturilla olisi saatu helposti 3 arvoa: 0, +1 ja -1 g. Tätä ei kuitenkaan testiä tehtäessä huomattu mitata, ja myöhemmin käyttöönoton aikataulu sekä testilaitteiston kaukainen sijainti estivät mittauksen tekemisen.

Nopeuskaaviosta nähdään, että mittauksessa esiintyi suuria poikkeamia verrattuna edellisiin tai seuraaviin mittauksiin. Tällaiset piikkeinä näkyvät, selvästi väärennetyt signaalit pitäisi laskennassa saada suodatettua pois. Suuret liikuteltavat massat ja pienet kitkat ajoradan ja vetopyörien välillä eivät mahdollista kovin nopeita muutoksia kiihtyvyyden tai nopeuden suhteen, normaalistihan teräsrakenteet eivät aiheuta tässä testissä havaittuja nykäyksiä. Asettamalla yksinkertaisesti rajat muutosnopeudelle saataisiin ainakin pahimmat piikit karsittua pois. Miettimistä tosin riittää siinä, pitäisikö piikit vain leikata pois vai olisiko mahdollista korvata suuret heitot vaikkapa edelliseen ja seuraavaan mittauksen keskiarvolla. Ainoastaan törmättäessä päätystoppareille tai toiseen nosturiin voivat kiihtyvyydet – puskureista huolimatta – nousta suuriksi. Tällaisen tapahtuman seurauksena jouduttaisiin kuitenkin melko varmasti suorittamaan referenssiajo, eikä tämänkaltaisiin erittäin poikkeuksellisiin tilanteisiin tarvitse laskennassa varautua.

Nopeuskaaviossa näkyvää, tasaisella nopeudella laskennassa tapahtuvaa valumista voitaisiin puolestaan korjata toisella kiihtyvyydellanturilla. Tällä anturilla mittaus tehtäisiin vain kerran sekunnissa. Mittauksen tulos olisi seuraavan sekunnin ajan eräänlainen offset varsinaisen paikan mittauksen laskentaan. Offsetmittaus voisi tapahtua myös vaikkapa 3-4 Hz taajuudella, ja offsetiksi annettaisiinkin useamman mittauksen keskiarvo. Tällainen matalalla taajuudella mitattu yksittäinen kiihtyvyyssarvo tai muutaman mittauksen keskiarvo ei sisällä varsinaisessa paikan laskennassa kertautuvaa virhettä, ja oikein painotettuna parantaa laskennan tarkkuutta. Mahdollista varmaan olisi myös käyttää varsinaisen mitta-anturin dataa ”toiseen kertaan” edellä

kuvattuun tarkoitukseen, vaikkakin toisen anturin käyttö aina pienentää virhemahdollisuutta.

6 Yhteenveto

Nykyaikaista nosturia liikutellaan lähes aina automaation ohjaamana. Liikuttelu perinteisesti suoraan kontaktoreita ohjaamalla on käytössä enää vanhimmissa nostureissa. Peruskorjausten yhteydessä se yleensä korvataan logiikkaohjauksella ja taajuusmuuttajakäytöillä. Saadessaan käyttäjän ohjauskomennon logiikka tutkii useita kymmeniä muitakin signaaleja, ennen kuin siirtää komennon eteenpäin. Logiikankin antamaan ohjaukseen saattavat vielä puuttua mm. taajuusmuuttajat.

Yksi oleellinen osa nosturiautomaatiossa on nosturin paikan mittaaminen. Eri nosturisovellukset edellyttävät erilaisia ominaisuuksia mittatiedolta. Jos useampi eri sovellus käyttää samaa mittatietoa, on mittalaitteisto valittava vaativimman sovelluksen mukaan. Markkinoilla olevista kymmenistä tai sadoista mittaussovelluksista löytyy varmasti aina toiminnallisesti sopiva mittajärjestelmä mitä erilaisimpiin nosturisovelluksiin. Ei kuitenkaan ole olemassa mitään yksittäistä järjestelmää, joka olisi yleispätevä sovellukseen kuin sovellukseen. Hankintahinnan ja ominaisuuksien lisäksi huomioon on aina otettava myös kokonaiskulut, elinikä, asiakkaan toiveet, vaadittu automaation taso sekä oma tietotaito. Kokonaiskulut sisältävät itse mittarin hankintakulun lisäksi sen asennuskulut, mahdollisten järjestelmään liittyvien muiden osien hankinta- ja asennuskulut sekä kytkennästä ja käyttöönotosta aiheutuvat kulut. Asiakas on luonnollisesti kiinnostunut myös järjestelmän huoltotarpeesta, niin mekaanisesta, sähköisestä kuin ohjelmistoonkin liittyvästä. Käyttöympäristö ja samalla ajoradalla olevat muut nosturit asettavat omat rajoituksensa ja vaatimuksensa mittajärjestelmälle.

Tekniikan kehittyessä on ajoittain tarjolla täysin uudenlaisia ratkaisuja myös nosturin paikanmittausjärjestelmäksi. GPS:ään perustuva paikannus on ainakin vielä liian epätarkka yhteenkään nosturisovellukseen, poislukien ehkä tuotannonohjauksen tarpeisiin tuotettua paikkatietoa. Häiriöherkkyys ja virheheijastumien vaara varsinkin teräsrakenteiden keskellä ei myöskään sovi yhteen usein nimenomaan teräsrakenteisissa teollisuushalleissa. Mutta kun (näinhän voitaneen olettaa tapahtuvan ajan myötä)

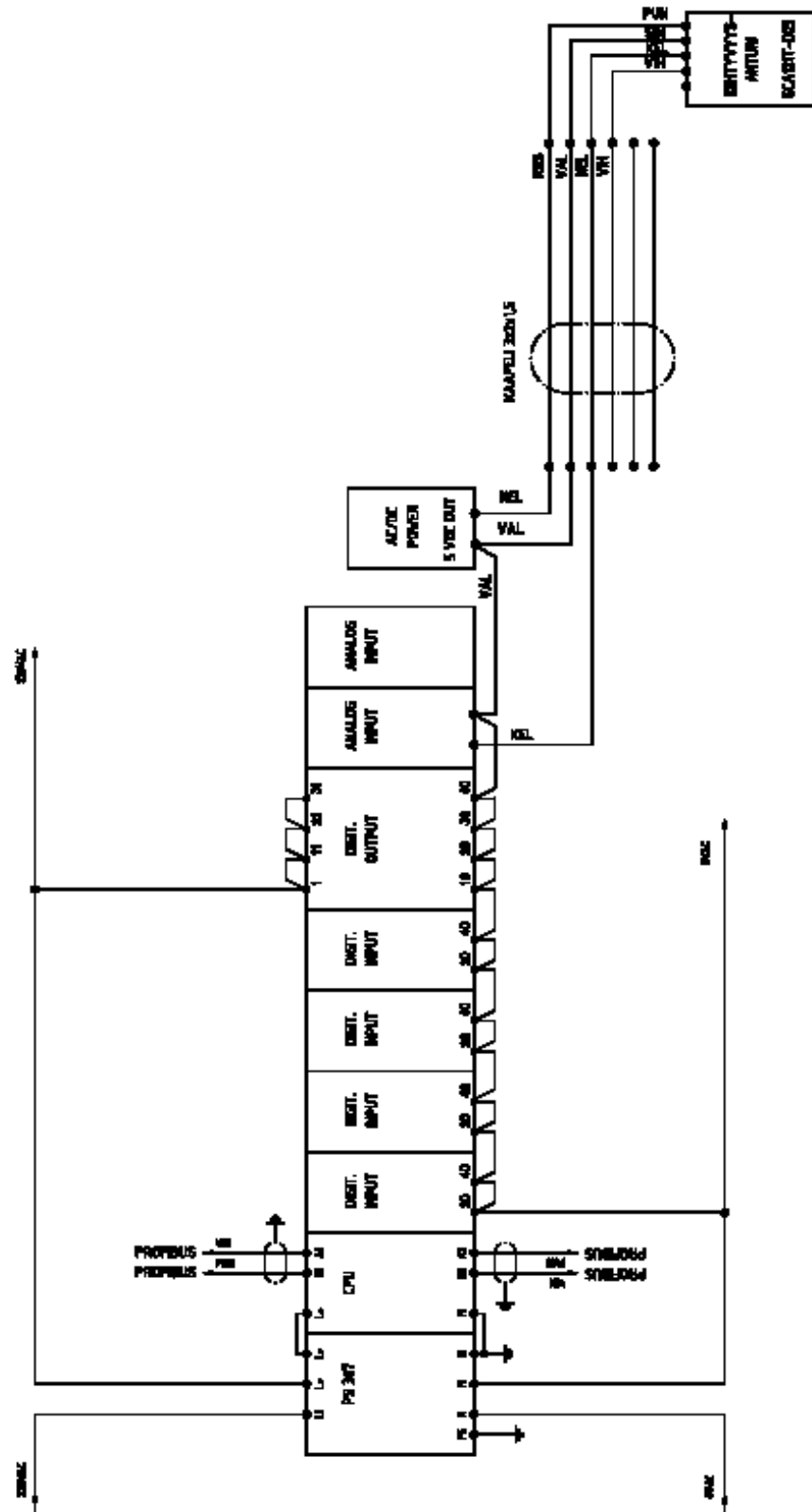
järjestelmää saadaan kehitettyä vähemmän häiriöherkäksi ja paikannustarkkuus n. 10-kertaiseksi, järjestelmä on hyvinkin houkutteleva suuriin tehdashalleihin jopa useiden kymmenien nostureiden paikoittajaksi, kokonaiskustannuksiltaan kilpailukykyiseen hintaan.

Myöskään testattu kiihtyvyysanturiin perustuva mittausjärjestelmä ei sellaisenaan sovellu nosturin paikan määrittämiseen. Testissä käytetty ± 1 g anturi ei ollut paras mahdollinen nosturin pienien, maksimissaan $\pm 0,05$ g kiihtyvyyksien mittaamiseen. Resoluution puutteen tai kohinan seurauksena saatu virheellinen kiihtyvyysarvo kertautuu testin 10 Hz:n näytteenotto- ja laskentataajuuden sekä kaksinkertaisen integroinnin myötä useita kymmeniä kertoja sekunnissa. Yksinkertainen laskenta ei suodata millään tavalla selviäkään virhearvoja pois. Nosturin paikan korjaaminen referenssipisteissä ei korjaa itse laskentaa. Virhe tavallaan säilyy vääränä nopeutena ja alkaa taas kertyä referenssipisteen jälkeen myös paikkatietoon. Testi kuitenkin osoitti, että järjestelmä toimii jollakin tavalla jo näillä valinnoilla. Jo anturin vaihtaminen pienemmän mitta-alueen anturiin kasvattaa resoluutiota moninkertaiseksi. Jänniteviestin vaihtaminen 16-bittiseksi digitaaliviestiksi poistaa kohinan vaikutuksia ja monikymmenkertaistaa testin teoreettisenkin resoluution. Eri taajuudella tehtävällä rinnakkaisella mittauksella saadaan tasaisella nopeudella tapahtuvaa valumista poistettua. Jonkinasteinen piikkiarvojen suodatus, sikäli kun niitä sopivalla anturilla edes tulee, sekä lämpötilakompensaatiolaskenta parantavat varmasti myös osaltaan tuloksen tarkkuutta. Kiihtyvyysanturin käyttöä paikan määrittämisessä ei siis kannata suoraan tyrmätä tämän testin perusteella, vaan päinvastoin kannattaa etsiä ratkaisuja havaittuihin ongelmiin sekä kehittää laskentaa. Onnistuneen tuotekehityksen tuloksena käytössä olisi järjestelmä, joka sekä hankintahinnaltaan että asennuskuluiltaan olisi kilpailukykyinen muihin käytössä oleviin järjestelmiin verrattuna. Käytännössä täydellinen elinikäinen huoltovapaus sekä minimaalinen varaosavaraston arvo olisivat varmasti myös asiakkaiden toiveiden mukaisia ominaisuuksia.

Lähteet

- 1 Leika Disto. 2009. (WWW-dokumentti.)
<http://www.leicanet.fi/Tuotteet/DISTO/Mittausperiaate_screen.pdf>. Päivitetty 23.11.2009. Luettu 18.2.2010.
- 2 Encyclopedia of Laser Physics and Technology. 2010. (WWW-dokumentti.)
<http://www.rp-photonics.com/distance_measurements_with_lasers.html>. Päivitetty 5.1.2010. Luettu 10.2.2010.
- 3 Leuze viivakoodinpaikannusjärjestelmä. 2006. (WWW-dokumentti.)
<[http://www.sks.fi/inet/sks/contman.nsf/documents/8B87C1855D4B6C4DC22571F70025BC5F/\\$file/leuze_viiwakoodipaikannus_BPS3x_271206.pdf](http://www.sks.fi/inet/sks/contman.nsf/documents/8B87C1855D4B6C4DC22571F70025BC5F/$file/leuze_viiwakoodipaikannus_BPS3x_271206.pdf)>. Päivitetty 27.12.2006. Luettu 12.2.2010.
- 4 Sick Stegmann. Pomux Data Sheet. 2007.
- 5 Modernia mittaustekniikkaa. 2008. (WWW-dokumentti.)
<http://www.tehomix.fi/esitteet/laserliner_2008.pdf>. Päivitetty 2008. Luettu 18.2.2010.
- 6 Leika Disto. 2009. (WWW-dokumentti.)
<http://www.leicanet.fi/Tuotteet/DISTO/Laser_vs_Sonic_Measuring_screen.pdf>. Luettu 18.2.2010.
- 7 Laitinen, Sami. Kehityspäällikkö. Naviva, Espoo. Puhelinkeskustelu 21.11.2007.
- 8 Space systems Finland Ltd. NavindoorTM. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.ssf.fi/pages/index.php?fid=23&pid=4>>. Päivitetty 2009. Luettu 19.2.2010.
- 9 VTI Technologies Oy. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.vti.fi/fi/sovellukset/kuluttajaelektroniikka/>>. Luettu 22.2.2010
- 10 Pelttari, Juhani. Field Sales Engineer. VTI Technologies Oy, Vantaa.
Puhelinkeskustelu 2.12.2009
- 11 Taulukot. (WWW-dokumentti.)
<http://www.taulukot.com/index.php?search_id=tahtitiede&lng=fi>. Luettu 1.3.2010
- 12 VTI Technologies Oy. 2006. SCA100T Series Data Sheet.

Liite 1: Kiihtyvyyssanturin kytkentäkaavio



Liite 2: Paikan ja nopeuden kuvaajat

